

PLAN NEUTRALIZACJI OKREŚLAJĄCY
PLANOWANE METODY NEUTRALIZACJI
ZALANYCH MATERIAŁÓW NIEBEZPIECZNYCH,
Z UWZGLĘDNIENIEM WPŁYWU PLANOWANEJ
DZIAŁALNOŚCI M.IN. NA STAN ŚRODOWISKA
MORSKIEGO

WRAK STATKU FRANKEN



Numer referencyjny dokumentu

IM_5927_PNZ_001_PL_04

Numer projektu

5927

Rewizja

[04]

Data wydania

[27.05.2026]

Projekt: Działania pomiarowe oraz badawcze dotyczące rozpoznania i ewentualnej neutralizacji materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego dla lokalizacji w obszarze: wrak statku Franken

Dokument: Plan neutralizacji określający planowane metody neutralizacji zalanych materiałów niebezpiecznych, z uwzględnieniem wpływu planowanej działalności m.in. na stan środowiska morskiego

Rewizja
Data

04
2026-05-27

Opracowali	Magdalena Matczak	<i>Magdalena Matczak</i>
	Radosław Opiola	<i>Radosław Opiola</i>
	Benedykt Hac	<i>Benedykt Hac</i>
	Marek Reszko	<i>Marek Reszko</i>
	Jacek Fabisiak	<i>Jacek Fabisiak</i>
	Edyta Łońska	<i>Edyta Łońska</i>
	Jarosław Michalak	<i>Jarosław Michalak</i>
	Łukasz Grzyb	<i>Łukasz Grzyb</i>
	Artur Cywiński	<i>Artur Cywiński</i>
	Natalia Kaczmarek	<i>Natalia Kaczmarek</i>
Sprawdził	Kamila Szeniewska	<i>Kamila Szeniewska</i>
	Teresa Moroz-Kunicka	<i>T. Kunicka - Moroz</i>
	Radosław Opiola	<i>Radosław Opiola</i>
Zatwierdził		

Uniwersytet Morski w Gdyni
Instytut Morski
ul. Roberta de Plelo 20
80-548 Gdańsk
www.im.umg.edu.pl
MEWO S.A.
ul. Starogardzka 17A
83-010 Straszyn
www.mewo.eu
Akademia Marynarki Wojennej
im. Bohaterów Westerplatte
ul. Śmiałowicza 69
81-127 Gdynia
www.amw.gdynia.pl

HISTORIA ZMIAN

Rewizja	Data wydania	Powód wydania dokumentu
01	[05.12.2025]	Wersja podstawowa
02	[30.01.2026]	Wersja ostateczna
03	[04.05.2026]	Wersja ostateczna poprawiona
04	[27.05.2026]	Wersja ostateczna poprawiona o wyniki modelowania

DOKUMENTACJA POWIĄZANA

Lp.	Tytuł	Numer referencyjny	Data wydania
1	Opis przedmiotu zamówienia	Załącznik nr 1 do Umowy nr PM.372.4.1.2025.JG	11.03.2025 r.
2			
3.			

SPIS TREŚCI

SPIS TABEL	7
SPIS RYSUNKÓW	9
SPIS ZAŁĄCZNIKÓW	11
DEFINICJE SKRÓTÓW I POJĘĆ	12
WPROWADZENIE	16
Tło problemu (synteza)	16
Cele Planu Neutralizacji Zagrożeń	16
Metodyka opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń	18
Syntetyczny opis badanego obszaru	19
Część I	23
1 ZATOPIONE MATERIAŁY NIEBEZPIECZNE	23
1.1 Opis i ocena stanu T/S Franken	24
1.1.1 Zatopione materiały niebezpieczne i ich stan	26
1.1.1.1 Paliwa i produkty olejowe na wraku T/S Franken	26
1.1.1.2 Nieodpompowane paliwa na okręcie (paliwo resztkowe)	29
1.1.1.3 Paliwa syntetyczne	30
1.1.1.4 Amunicja na wraku	30
1.1.2 Skutki uszkodzenia T/S Franken	32
1.1.3 Incydenty zanieczyszczenia	33
1.2 Wpływ na środowisko	35
1.2.1 Zachowanie się oleju w wodzie morskiej	40
1.2.2 Zachowanie się rozlewów podpowierzchniowych	43
1.2.3 Scenariusze rozlewu T/S Franken	43
1.2.4 Skutki obecności oleju w morzu	44
1.2.5 Toksyczność paliw syntetycznych	47
2 ASPEKTY PRAWNE I REGULACYJNE	48
2.1 Prawo międzynarodowe	49
2.2 Uwarunkowania regionalne	51
2.3 Prawo krajowe	52
3 TECHNOLOGIE NEUTRALIZACJI I REMEDIACJI	56
3.1 Neutralizacja paliwa we wrakach oraz skażonego osadu	56
3.1.1 Usuwanie paliwa z wraków	56
3.1.1.1 Hot tapping	57
3.1.1.2 Usuwanie wraków	59
3.1.1.3 Systemy Pasywnego Zbierania (DIFIS)	60

3.1.1.4	Odpompowanie bezpośrednie	61
3.1.2	Zabezpieczenie przed wydostawaniem się paliwa z wraków	61
3.1.2.1	Powłoki ochronne (<i>capping</i>)	62
3.1.2.2	Uszczelnianie wycieków	62
3.1.2.3	Stabilizacja wraku lub jego otoczenia	63
3.1.3	Inne działania	64
3.1.3.1	Grodza (<i>cofferdam</i>)	64
3.1.3.2	Działania uzupełniające	65
3.2	Remediacja osadów skażonych paliwem	65
3.2.1	Metody <i>in situ</i>	65
3.2.1.1	Usuwanie	65
3.2.1.2	Nakrywanie (<i>capping</i>)	66
3.2.1.3	Bioremediacja	67
3.2.2	Metody <i>ex situ</i>	68
3.2.2.1	Desorpcja termiczna	68
3.2.2.2	Mycie gruntu (<i>soil washing</i>)	69
3.3	Neutralizacja amunicji konwencjonalnej	70
3.3.1	Likwidacja zagrożenia w miejscu zalegania	71
3.3.1.1	Neutralizacja przez nurków	71
3.3.1.2	Neutralizacja przy użyciu pojazdu podwodnego	74
3.3.2	Wydobycie i utylizacja	75
3.3.2.1	Relokacja i odzysk amunicji	75
3.4	Podsumowanie	77
4	SZACOWANIE KOSZTÓW	81
4.1	Czynniki kształtujące koszty	81
4.2	Koszty techniczne i operacyjne	82
4.3	Analiza danych historycznych	84
4.4	Metody szacowania kosztów	85
4.5	Przykładowe koszty operacji z użyciem konkretnych metod neutralizacji paliwa we wrakach	87
5	ANALIZA I ZARZĄDZANIE RYZYKIEM	92
5.1	Analiza ryzyka	92
5.1.1	Ocena ryzyka zalegania paliwa we wraku T/S Franken – podsumowanie dotychczasowych analiz, wiedzy i zastosowane metody	94
5.1.2	Wstęp do ponownej oceny ryzyka emisji zanieczyszczenia z wraku T/S Franken	95
5.1.2.1	Modelowanie emisji zanieczyszczenia	99
5.1.2.2	Zastosowanie modelu LPT-IM2	109
5.1.2.3	Reagowanie na zanieczyszczenie	109

Część II.....	110
6 WYNIKI BADAŃ – PODSUMOWANIE I REKOMENDOWANA STRATEGIA POSTĘPOWANIA	110
6.1 Stan techniczny wraku T/S Franken.....	110
6.2 Stan rejonu wokół wraku T/S Franken.....	114
6.3 Amunicja konwencjonalna	117
6.4 Ponowna ocena ryzyka emisji zanieczyszczeń z wraku T/S Franken	121
6.5 Podsumowanie i rekomendacje	128
7 KIERUNKI DALSZYCH DZIAŁAŃ	130
7.1 Perspektywa 5 lat – monitoring i dalsze rozpoznanie	130
7.1.1 Monitoring stanu wraku i środowiska	130
7.1.2 Dalsze rozpoznanie amunicji konwencjonalnej w otoczeniu T/S Franken	130
7.1.3 Neutralizacja zagrożenia ze strony amunicji konwencjonalnej	131
7.1.4 Zabezpieczenie techniczne wraku	131
7.1.5 Przygotowanie wraku do dalszych badań.....	132
7.2 Perspektywa 5–10 lat – działanie warunkowe	137
7.2.1 Neutralizacja zagrożenia ze strony paliwa metoda hot-tapping	137
7.3 Szacowanie kosztów rekomendowanych działań.....	144
7.4 Zarządzanie ryzykiem - rekomendacje	145
8 WPŁYW PLANOWANEJ NEUTRALIZACJI M.IN. NA STAN ŚRODOWISKA MORSKIEGO	147
9 MONITORING ŚRODOWISKA.....	153
9.1 Monitoring stanu wraku	153
9.2 Monitoring środowiskowy	153
10 STRESZCZENIE W JĘZYKU NIESPECJALISTYCZNYM	155
10.1 Cel opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń.....	155
10.2 Metodologia opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń	155
10.3 Aktualny stan techniczny wraku	155
10.4 Ustalenia dotyczące paliwa i innych potencjalnych zagrożeń	156
10.5 Rekomendowane działania: monitoring i zabezpieczenie prewencyjne	156
BIBLIOGRAFIA.....	158

SPIS TABEL

Tabela 1.	Odległość miejsca zalegania wraku Franken od kluczowych obszarów (źródło: opracowanie własne na podstawie SIPAM)	21
Tabela 2.	Zestawienie parametrów technicznych okrętu T/S Franken (źródło: opracowanie własne w oparciu o Bauvorschrift Maschine FRANKEN oraz Bauvorschrift Schiffskörper FRANKEN)	24
Tabela 3.	Paliwa używane dla potrzeb własnych na T/S Franken (źródło: Bauvorschrift für den Maschinenanlage des Trossschiffes „Franken“)	27
Tabela 4.	Informacja o dodatkach do olejów i smarów technicznych (źródło: opracowanie własne)	27
Tabela 5.	Wykaz zbiorników zawierających paliwa transportowane przez T/S Franken lub olej opałowy używane do napędu silników lub zasilania kotłów (źródło: T/S Franken – Plan załadunku paliwa; za: archiwum Freiburg)	29
Tabela 6.	Incydenty zanieczyszczenia w buforze 10 Mm od lokalizacji zalegania wraku T/S Franken (źródło: HELCOM)	33
Tabela 7.	Produkty naftowe według klasyfikacji grupowej i Kodeksu Przepisów Federalnych USA (źródło: Oil in the Sea IV, 2022)	36
Tabela 8.	Parametry podstawowe olejów lekkich (źródło: NOAA)	37
Tabela 9.	Parametry podstawowe olejów ciężkich (źródło: NOAA)	38
Tabela 10.	Zestawienie procesów wpływających na zachowanie się oleju w morzu (źródło: Oil in the Sea IV, 2022)	42
Tabela 11.	Scenariusze rozlewu z wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne na podstawie Oil in the Sea IV, 2022)	43
Tabela 12.	Przegląd względnych skutków ogólnego zrzutu oleju na organizmy, w zależności od mechanizmu narażenia: kontaktu fizycznego, połknięcia, wdychania i wchłaniania (źródło: Oil in the SEA IV) ...	46
Tabela 13.	Ramy instytucjonalne zgodnie z art. 32b–e ustawy z dnia 21 marca 1991 r. o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej (Dz.U. 1991 nr 32 poz. 131 z późn. zm.) (źródło: opracowanie własne)	54
Tabela 14.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody hot tappingu (źródło: opracowanie własne) ...	59
Tabela 15.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody usuwania wraków (źródło: opracowanie własne)	60
Tabela 16.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody DIFIS (źródło: opracowanie własne)	61
Tabela 17.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody powłok ochronnych (źródło: opracowanie własne)	61
Tabela 18.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody powłok ochronnych (źródło: opracowanie własne)	62
Tabela 19.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia uszczelniania wycieków (źródło: opracowanie własne)	63
Tabela 20.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia stabilizacji wraku lub jego otoczenia (źródło: opracowanie własne)	64
Tabela 21.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia grodzenia (źródło: opracowanie własne)	64
Tabela 22.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia usuwania skażonych osadów (źródło: opracowanie własne)	66
Tabela 23.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia nakrywania (capping) (źródło: opracowanie własne) ...	66
Tabela 24.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia bioremediacji (źródło: opracowanie własne)	68
Tabela 25.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia desorpcji termicznej (źródło: opracowanie własne)	69
Tabela 26.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody mycia gruntu (źródło: opracowanie własne) ...	70

Tabela 27.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody detonacji (źródło: opracowanie własne)	72
Tabela 28.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody deflagracja (źródło: opracowanie własne)	73
Tabela 29.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody zabezpieczenia in situ (źródło: opracowanie własne)	75
Tabela 30.	Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody wydobywania i neutralizacji (źródło: opracowanie własne)	77
Tabela 31.	Podsumowanie głównych metod neutralizacji/remediacji zagrożeń potencjalnie występujących w rejonie wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne)	78
Tabela 32.	Zestawienie kosztów przykładowych realizacji (źródło: opracowanie własne)	84
Tabela 33.	Skonsolidowane zestawienie dotyczące przeprowadzonych operacji mających na celu neutralizację zagrożenia ze strony paliwa zalegającego we wrakach (źródło: opracowanie własne)	88
Tabela 34.	Kalkulacja H-DBA olejów T/S Franken (źródło: opracowanie własne)	98
Tabela 35.	Parametry symulacji STW emisji zanieczyszczenia olejem dla wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne)	102
Tabela 36.	Ocena stanu zbiorników paliwa wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)	111
Tabela 37.	Ocena prawdopodobieństwa obecności oleju w zbiornikach wraku T/S Franken (źródło: Badania 2025-26)	112
Tabela 38.	Podsumowanie wyników badań wykorzystanych w ocenie stanu wraku T/S Franken i jego otoczenia (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)	119
Tabela 39.	Ocena ryzyka zanieczyszczenia środowiska paliwem ze zbiorników wraku T/S Franken (źródło: Badania 2025-26)	121
Tabela 40.	Scenariusze wycieku paliwa ze zbiorników wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne na bazie NOAA, IUCN, Springer Handbook 2024)	123
Tabela 41.	Znaczenie scenariuszy emisji paliwa z wraku T/S Franken dla oceny ryzyka, przestrzeni potencjalnego oddziaływania oraz monitoringu i reagowania (opracowanie własne)	127
Tabela 42.	Identyfikacja zbiorników do hot-tappingu i ocena priorytetu interwencji (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)	138
Tabela 43.	Szacunkowe koszty rekomendowanych działań zabezpieczających, monitorujących i interwencyjnych w obrębie wraku T/S Franken oraz wokół niego (źródło: opracowanie własne)	144
Tabela 44.	Syntetyczne zestawienie potencjalnych oddziaływań planowanej neutralizacji paliwa metodą hot tapping na środowisko morskie oraz otoczenie społeczno-gospodarcze (źródło: opracowanie własne)	150

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1.	Lokalizacja obszaru badawczego w rejonie wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne).....	20
Rysunek 2.	Lokalizacja wraku T/S Franken z uwzględnieniem innej działalności w rejonie Zatoki Gdańskiej (źródło: opracowanie własne na bazie SIPAM).....	21
Rysunek 3.	T/S Franken na wodach Zatoki Gdańskiej w końcowym okresie wojny. (źródło: Kieser E. 1984).	24
Rysunek 4.	T/S Franken w kilka minut po krytycznym trafieniu bombami lotniczymi. Widać oderwaną i już tonącą część dziobową okrętu oraz ogarniętą pożarem nadbudówkę główną. Po lewej burcie widać również rozlewającą się skośnie płamę paliwa z uszkodzonych zbiorników (źródło: Балтийский флот, авиация ВМФ, операционные отчёты (апрель 1945), „Военный альбом”)	26
Rysunek 5.	T/S Franken – Plan załadunku paliwa. Oznaczenia kolorem czerwony – paliwo ładunkowe, żółty – olej napędowy, różowy – olej opałowy, fioletowy – oleje i smary, szary – olej odpadowe. Czarna plama na wysokości sekcji XI, wręgi 132 – 143 oznacza miejsce uszkodzenia (rozerwania) okrętu (źródło: opracowanie własne na podstawie rysunków z archiwum Freiburg)	32
Rysunek 6.	Lokalizacja incydentów zanieczyszczenia w rejonie Zatoki Gdańskiej (źródło: opracowanie własne na bazie danych HELCOM)	35
Rysunek 7.	Model koncepcyjny dotyczący zachowania się oleju w środowisku morskim (źródło: opracowanie własne)	41
Rysunek 8.	Potencjalne negatywne skutki narażenia na wyciek ropy naftowej w różnych poziomach organizacji ekosystemu w kontekście wielu czynników stresogennych (źródło: Oil in the SEA IV) .	45
Rysunek 9.	Fazy procesu neutralizacji zagrożeń zgodne z art. 32b–e ustawy z dnia 21 marca 1991 r. o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej (Dz.U. 1991 nr 32 poz. 131 z późn. zm.) (źródło: opracowanie własne)	54
Rysunek 10.	Schemat praktycznych metod neutralizacji amunicji (źródło: opracowanie własne)	71
Rysunek 11.	Schemat procesu zarządzania ryzykiem w odniesieniu do wraków (źródło: opracowanie własne)	93
Rysunek 12.	Drzewo zdarzeń (błędów) dla oceny ryzyka emisji oleju z wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne)	96
Rysunek 13.	Przykładowa trajektoria ruchu środka plamy olejowej z datą i czasem lokalizacji poszczególnych punktów (źródło: opracowanie własne)	105
Rysunek 14.	Przykład symulacji oleju tonącego (źródło: opracowanie własne)	105
Rysunek 15.	Przykład symulacji plamy oleju lekkiego (LIGHT DIESEL FUEL) – olej dociera do brzegu (źródło: opracowanie własne).....	106
Rysunek 16.	Przykład symulacji dla BUNKER C przeprowadzonej w tym samym czasie, co symulacja na rysunku (Rysunek 15) – olej dociera do brzegu (źródło: opracowanie własne)	106
Rysunek 17.	Trajektorie dryfu zanieczyszczenia uzyskane przy pomocy symulacji STW (źródło: opracowanie własne)	107
Rysunek 18.	Obraz pokazujący punkty, w których olej z emisji podpowierzchniowej wypływa na powierzchnię wody (źródło: opracowanie własne).....	107
Rysunek 19.	Model 3D wraku T/S Franken z zintegrowanym modelem zbiorników (źródło: Badania 2025-26)	110
Rysunek 20.	Ocena prawdopodobieństwa obecności oleju w zbiornikach wraku T/S Franken; oznaczenia - czerwony: tak; pomarańczowy: możliwe; zielony: nie, opis zbiorników zgodny z tabelą (Tabela 37) (źródło: Badania 2025-26)	113
Rysunek 21.	Amunicja kalibru 150 mm w barbecie armaty na pokładzie T/S Franken (źródło: Hac i Sarna 2021)	117

Rysunek 22.	Skrzynia na amunicję dużego kalibru (prawdopodobnie 100 lub 127 mm) w rejonie wraku T/S Franken (źródło: Badania 2025-26)	118
Rysunek 23.	Skrzynka z nabojami nierozpoznanego kalibru (prawdopodobnie powyżej 75 mm, naboje nieuzbrojone w rejonie wraku T/S Franken (źródło: Badania 2025-26)	118
Rysunek 24.	Ekspozycja roczna całkowita dla paliwa ciężkiego w 2025 roku przy emisji ciągłej 12kg/d oraz 70 000 kg/d (źródło: Badania 2025-26)	124
Rysunek 25.	Izoplety całkowite dla wariantu Heavy w 2025 roku przy emisji ciągłej 12 kg/d, 500 kg/d i 70 000 kg/d. Kolorem czerwonym oznaczono rdzeń ryzyka 0,0–0,5; kolorem pomarańczowym strefę pośrednią 0,5–0,9; kolorem białym peryferie 0,9–1,0. Linia ciągła oznacza izoplecę 0,5, a linia przerywana izoplecę 0,9 (źródło: Badania 2025-26)	124
Rysunek 26.	Schemat kwalifikacji scenariuszy emisji paliwa z wraku T/S Franken oraz odpowiadających im ogólnych kierunków postępowania (źródło: opracowanie własne)	125
Rysunek 27.	Schemat decyzyjny dalszego postępowania wobec wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne)	129
Rysunek 28.	Dostęp do zbiornika ładunkowego 3C (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)	134
Rysunek 29.	Dostęp do zbiornika ładunkowego 4P (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)	134
Rysunek 30.	Dostęp do zbiornika ładunkowego 4C (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)	134
Rysunek 31.	Dostęp do zbiornika ładunkowego 5P (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)	135
Rysunek 32.	Dostęp do zbiornika ładunkowego 5C (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)	135
Rysunek 33.	Dostęp do zbiornika ładunkowego 5L (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)	135
Rysunek 34.	Dostęp do zbiornika o. napędowego On-L (źródło: opracowanie własne na podst. Badania 2025-26)	136
Rysunek 35.	Dostęp do zbiornika o. napędowego On-C (źródło: opracowanie własne na podst. Badania 2025-26)	136
Rysunek 36.	Identyfikacja zbiorników do hot-tappingu i ocena priorytetu interwencji; oznaczenia – kolory zbiorników jak w tabeli 42, pomarańczowy szraf – trudny dostęp (źródło: opracowanie własne)	141
Rysunek 37.	Lokalizacja zbiorników z wysokim priorytetem interwencji (źródło: opracowanie własne na bazie Badania 2025-26)	141
Rysunek 38.	Lokalizacja zbiorników z wysokim priorytetem interwencji, ujęcie z góry (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)	142
Rysunek 39.	Położenie wraku T/S Franken na tle obszarów chronionych (źródło: opracowanie własne na bazie danych GDOŚ)	148

SPIS ZAŁĄCZNIKÓW

Załącznik 1: Szczegółowy opis wraku T/S Franken

DEFINICJE SKRÓTÓW I POJĘĆ

Skrót/pojęcie	Znaczenie
ALARP	racjonalne podejście do zarządzania ryzykiem, zgodnie z zasadą: 'tak nisko jak to rozsądne/racjonalnie wykonalne' (<i>as low as reasonably practicable</i>)
AMW	Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte
amunicja¹	- nabój scalony do strzeleckiej broni palnej, - naboje do broni palnej innej niż strzelecka broń palna, pociski kierowane, pociski rakietowe, miny, bomby, granaty, torpedy, głowice, zapalniki, ładunki, lonty i środki pozoracji pola walki, - inne środki przeznaczone do niszczenia lub obezwładniania osób lub obiektów, a także do celów pozoracyjnych, ćwiczebnych, szkolno-treningowych, badań lub sportowych, - komponenty amunicji zawierające materiały wybuchowe, chemiczne środki obezwładniające lub zapalające albo inne substancje, których działanie zagraża życiu lub zdrowiu, a także materiał wybuchowy miotający w postaci prochu, - komponenty amunicji niezawierające materiałów wybuchowych: korpusy pocisków amunicji artyleryjskiej, łuski amunicji artyleryjskiej, kadłuby min, elementy układów napędowych, naprowadzania i sterowania pocisków rakietowych, bomb lotniczych i głębinowych, torped i imitatorów celów.
AUV	autonomiczny pojazd podwodny (<i>Autonomous Underwater Vehicle</i>)
AXO²	porzucone materiały wybuchowe – materiały wybuchowe, który nie zostały wykorzystane podczas konfliktu zbrojnego, zostały pozostawione lub porzucone przez stronę konfliktu i nie są już pod kontrolą tej strony, która go pozostawiła lub porzuciła
baryłka	jednostka miary używana do określenia objętości ropy naftowej (~ 159 dm ³)
BAT/BEP	najlepsze dostępne techniki i praktyki środowiskowe (<i>Best Available Techniques / Best Environmental Practices</i>)
BHMW	Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej
BRT	tonaż rejestrowy brutto; jednostka miary używana do określenia pojemności brutto jednostki pływającej
BSAP	Plan Działań dla Morza Bałtyckiego (<i>HELCOM Baltic Sea Action Plan</i>)
BŚT	bojowe środki trujące
cSt	Centystokes - jednostka lepkości kinematycznej
DGPS	Różnicowy System Globalnego Pozycjonowania (<i>Differential Global Positioning System</i>)
DIFIS	system pasywnego zbierania wyciekającego oleju z wraków (<i>Double Inverted Funnel for the Intervention on Shipwrecks</i>)
E-DBA	analiza środowiskowa na podstawie danych wtórnych (<i>Environmental Desk-Based Assessment</i>)
EOD	wojskowe jednostki saperskie (<i>Explosive Ordnance Disposal</i>)
EPA US	Agencja Ochrony Środowiska (<i>Environmental Protection Agency</i>)
ERP	Plan Reagowania Kryzysowego (<i>Emergency Response Plan</i>)
ERW	wybuchowe pozostałości wojenne (UXO + AXO) (<i>Explosive Remnants of War</i>)
FT	grupa produktów otrzymywanych w procesie Fischera-Tropscha.

¹ Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 7 lipca 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o wykonywaniu działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania i obrotu materiałami wybuchowymi, bronią, amunicją oraz wyrobami i technologią o przeznaczeniu wojskowym lub policyjnym (Dz.U. 2023 poz. 1743), art.3.1

² Uzupełnienie Przedmiotów Wybuchowych i Niebezpiecznych w operacjach połączonych DD-3.18(B), Szkol. 1013/2024, MON, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych

Skrót/pojęcie	Znaczenie
galon	jednostka miary objętości płynów stosowana w krajach anglosaskich
GMDSS	Światowy Morski System Łączności Alarmowej i Bezpieczeństwa (<i>Global Maritime Distress and Safety System</i>)
HDO	paliwo ciężkie
HELCOM	Komisja Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku (<i>Baltic Marine Environment Protection Commission, Helsinki Commission</i>)
HFO	paliwo ciężkie o wysokiej lepkości i gęstości, stosowane m.in. w T/S Franken jako ładunek oraz w dużych jednostkach Grupy Bojowej Thiele (<i>Heavy Fuel Oil e.g. Bunker C</i>)
HIRLAM / HIROMB	modele pogodowe i oceaniczne używane przez SMHI dla prognoz Seatrack Web
IFO	stopień lepkości paliwa
IMO	Międzynarodowa Organizacja Morska (<i>International Maritime Organisation</i>)
Konwencja NWRC	Międzynarodowa Konwencja z Nairobi w sprawie usuwania wraków
MARPOL	Międzynarodowa konwencja dotycząca zapobiegania zanieczyszczaniu morza przez statki, wspominana w kontekście zarządzania odpadami olejowymi i regulacji
MBD	wielkość określająca ilość paliwa – 1000 baryłek dziennie (<i>1,000 barrels/day</i>)
MBES	echosonda wielowiązkowa (<i>Multibeam Echosounder</i>)
MDO	olej napędowy do silników okrętowych (<i>marine diesel oil</i>)
MdsG	
MGO	olej napędowy stosowany jako paliwo w mniejszych okrętach oraz T/S Franken, a także jako jego ładunek (<i>Marine Gas Oil</i>)
MMSI	Morski Sygnał Wywoławczy (<i>Maritime Mobile Service Identity</i>)
Mm	mila morska (<i>nautical mile</i>)
MON	Ministerstwo Obrony Narodowej
MOSG	Morski Oddział Straży Granicznej
MPD	Najbardziej prawdopodobny rozlew (<i>Most Probable Discharge</i>)
MSFD	Ramowa Dyrektywa Strategii Morskiej (<i>Marine Strategy Framework Directive</i>) (2008/56/WE)
MSPiR	Morska Służba Poszukiwania i Ratownictwa
niewybuch ³	pocisk, granat, bomba lub ładunek kruszący, w którym mimo stworzonych warunków do wybuchu (uderzenie w przeszkodę, uzbrojenie zapalnika itp.) nie nastąpiła przemiana energii potencjalnej materiału kruszącego w energię mechaniczną na skutek działania zmian chemicznych w materiale kruszącym, błędów technicznych wykonania itp.
NOAA	Amerykańska Agencja Oceaniczna (<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>)
OOŚ	ocena oddziaływania na środowisko
OSCAR	model symulacyjny dryfu i rozprzestrzeniania się ropy
PCB	polichlorowane bifenyle
PNZ	Plan Neutralizacji Zagrożeń
PPW	wraki potencjalnie zanieczyszczające środowisko (<i>Potentially Polluting Wrecks</i>)

³ Oczyszczanie terenów z Przedmiotów Wybuchowych i Niebezpiecznych, Inż. 598/2014, DGRSZ

Skrót/pojęcie	Znaczenie
produkty FT	syntetyczne paliwa ciekłe powstałe w wyniku procesów chemicznych, w tym w wyniku syntezy Fischera-Tropscha
PUWG 92	Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych 1992
PWiN⁴	przedmioty wybuchowe i niebezpieczne. W dokumentach normatywnych definiowane jako materiały wybuchowe i niebezpieczne. PWiN mogą występować jako niewybuchy (<i>unexploded explosive ordnance – UXO</i>) i/lub porzucone materiały wybuchowe (<i>abandoned explosive ordnance – AXO</i>) zarówno w trakcie, jak i po zakończeniu konfliktu. W przypadku zakończenia konfliktu zarówno AXO, jak i UXO nazywane są wybuchowymi pozostałościami po wcześniejszych konfliktach (<i>explosive remnants of war – ERW</i>)
QHSE	System Zarządzania Jakością, Bezpieczeństwem i Środowiskiem (<i>Quality, Health, Safety and Environment</i>)
raport ULTRA	kryptonim alianckiego programu wywiadu podczas II wojny światowej, opartego na odszyfrowywaniu niemieckiej komunikacji kodowanej maszynami Enigma. Raporty ULTRA obejmowały meldunki operacyjne i logistyczne Kriegsmarine, dostarczając szczegółowych informacji m.in. o ruchach jednostek, stanach zaopatrzenia oraz przekazywaniu paliwa i amunicji
RDOŚ	Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska
ROV	zdalnie sterowany pojazd podwodny (<i>Remote Operated Vehicle</i>)
RTK	Kinematyczny Tryb Czasu Rzeczywistego (<i>Real Time Kinematic</i>)
Salvage	specjalistyczne zespoły ratownictwa morskiego
SAR	Technika wykorzystywana np. w monitoringu satelitarnym do wykrywania cienkich filmów paliwowych na powierzchni wody (<i>Synthetic Aperture Radar</i>)
SES	profilomierz osadów
SIPAM	System Informacji Przestrzennej Administracji Morskiej
SMHI	Szwedzki Instytut Meteorologiczny i Hydrologiczny (<i>Swedish Meteorological and Hydrological Institute</i>)
SSS	sonar boczny (<i>SideScanSonar</i>)
STW / Seatrack Web	system modelowania dryfu ropy naftowej HELCOM
System ROLS	zdalnie sterowany system do wypompowywania paliwa / olejów z zatopionych statków (<i>Remote Operated Off-Loading System</i>)
T/S	tankowiec (<i>Tanker Ship</i>)
tonaż	wyporność jednostki pływającej, tj. miara masy statku lub masy wody, którą wypiera
UM	Urząd Morski
UNCLOS	Konwencja o prawie morza (<i>United Nations Convention on the Law of the Sea</i>)
USBL	system pozycjonowania podwodnego (<i>Ultra Short Base Line</i>)
UTM	odwzorowanie Mercatora (<i>Universal Transverse Mercator</i>)
UXO	wg ⁵ – niewybuch – kompletne urządzenie wypełnione materiałami wybuchowymi, ładunkami miotającymi, materiałami pirotechnicznymi, mieszaninami zapalającymi lub środkami chemicznymi, biologicznymi, ładunkami radiologicznymi lub jądrowymi, do użycia w operacjach wojskowych, łącznie z wyburzeniami, które zostały odpalone, wystrzelone, zrzucone lub umieszczone w celu wyrządzenia

⁴ Usuwanie Przedmiotów Wybuchowych i Niebezpiecznych w operacjach połączonych DD-3.18(B), Szkol. 1013/2024, MON, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych

⁵ Usuwanie Przedmiotów Wybuchowych i Niebezpiecznych w operacjach połączonych DD-3.18(B), Szkol. 1013/2024, MON, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych

Skrót/pojęcie	Znaczenie
	szkody działaniom, obiektom, personelowi lub materiałom, a które nie eksplodowały wskutek wadliwego działania. wg⁶ – Materiały wybuchowe i amunicja, które były uzbrojone, wyposażone w zapalniki lub w inny sposób przygotowane do użycia, które były odpalone, wystrzelone, zrzucone lub umieszczone w taki sposób, że stanowią zagrożenie dla działań bojowych, instalacji, personelu lub materiałów, a które nie eksplodowały w wyniku usterek, złego działania lub z innych powodów.
VRAKA	metoda oceny ryzyka wraków opracowana przez HELCOM
w.	węzeł – jednostka prędkości
WAF	frakcja związana z wodą (<i>Water-Associated Fraction</i>)
WCD	Katastroficzny rozlew (<i>Worst-Case Discharge</i>)
WGS84	Globalny System Geodezyjny 1984 (<i>World Geodetic System 1984</i>)
WKZ	Wojewódzki Konserwator Zabytków
WoW	czas oczekiwania na poprawę warunków pogodowych (<i>Waiting on Weather</i>)
WWA	wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne
Zatopione materiały niebezpieczne	zgodnie z art. 32b ustawy o obszarach morskich – amunicja, broń, materiały wybuchowe i chemiczne zalegające na dnie morza

⁶ AAP-6. Słownik terminów i definicji NATO. AAP-6 (2017).

WPROWADZENIE

Tło problemu (synteza)

Zatopione na dnie Morza Bałtyckiego niebezpieczne materiały – w tym bojowe środki trujące, amunicja konwencjonalna, paliwa oraz substancje ropopochodne – stanowią poważne i narastające zagrożenie dla środowiska morskiego, działalności gospodarczej oraz bezpieczeństwa ludzi. Problem ten jest szczególnie istotny w polskich obszarach morskich, gdzie liczne miejsca zatopienia materiałów niebezpiecznych, pochodzące głównie z okresu II wojny światowej, wymagają systemowego podejścia oraz skoordynowanych działań na poziomie państwa.

Okręt T/S Franken, niemiecki zaopatrzeniowiec klasy Dithmarschen, operował na Morzu Bałtyckim podczas II wojny światowej, dostarczając paliwo i amunicję. Został zatopiony 8 kwietnia 1945 r. na wschód od Helu, obecnie jego wrak leży na głębokości około 70 m, a najmniejsza głębokość nad główną częścią wraku wynosi 47,4 m. Ze względu na przebieg zdarzenia, obejmujący bombardowanie, eksplozje i pożary w rejonie zbiorników ładunkowych, należy przyjąć, że w otoczeniu wraku doszło do skażenia dna morskiego substancjami ropopochodnymi. Według dotychczasowo przeprowadzonych analiz, wrak ten stanowi potencjalne zagrożenie dla środowiska i działalności gospodarczej.

W odpowiedzi na to wyzwanie, decyzją Prezesa Rady Ministrów w 2022 roku powołany został Międzyresortowy Zespół do spraw Materiałów Niebezpiecznych Zalegających na Obszarach Morskich Rzeczypospolitej Polskiej (M.P. 2022 poz. 1042) (dalej: Zespół). Zadaniem Zespołu jest opracowanie kompleksowego planu działań administracji publicznej w zakresie neutralizacji zagrożeń związanych z obecnością w polskich obszarach morskich bojowych środków trujących, broni konwencjonalnej oraz paliw i substancji ropopochodnych we wrakach. Zespół odpowiada także za analizę kompetencji instytucji publicznych, ocenę ekonomiczną niezbędnych działań, opracowanie harmonogramu ich realizacji, identyfikację podmiotów odpowiedzialnych, przygotowanie założeń systemu monitoringu oraz analizę ryzyka, również w kontekście rozwoju morskiej energetyki wiatrowej. Efektem prac Zespołu będą rekomendacje dla Rady Ministrów dotyczące dalszych działań na poziomie krajowym.

Cele Planu Neutralizacji Zagrożeń

Plan Neutralizacji Zagrożeń (dalej: PNZ) jest dokumentem o charakterze analityczno-strategicznym i stanowi narzędzie operacyjne wspierające proces podejmowania decyzji o charakterze środowiskowym, technicznym i ekonomicznym.

Celem PNZ dla obszaru wraku T/S Franken jest określenie ram i priorytetów dla działań mających na celu ograniczanie lub usunięcie zagrożeń wynikających z obecności niebezpiecznych materiałów zatopionych we wraku i jego otoczeniu. PNZ definiuje cele, kierunki działań, strukturę odpowiedzialności instytucjonalnej oraz podstawy dla wdrożenia systemu monitorowania i neutralizacji zidentyfikowanych zagrożeń. Dokument ten może stanowić punkt odniesienia dla dalszych decyzji rządowych, w tym przyjęcia długofalowego programu działań na rzecz poprawy bezpieczeństwa ekologicznego i operacyjnego w polskich obszarach morskich. Ponadto, może wspierać realizację zobowiązań Polski wynikających z międzynarodowych konwencji i dyrektyw, takich jak Konwencja Helsińska (HELCOM) czy Ramowa Dyrektywa ws. Strategii Morskiej (2008/56/WE).

Dokument ten powstał jako jeden z kluczowych rezultatów projektu realizowanego przez Urząd Morski w Gdyni pn.: „Rozpoznanie i ewentualna neutralizacja materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego w wybranych lokalizacjach”, finansowanego z Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO). Projekt ten wspiera działania Międzyresortowego Zespołu do spraw Materiałów Niebezpiecznych Zalegających na Obszarach Morskich Rzeczypospolitej Polskiej.

Celem PNZ dotyczącego obszaru zalegania wraku T/S Franken jest w szczególności:

1. identyfikacja i inwentaryzacja zatopionych materiałów niebezpiecznych, ze szczególnym uwzględnieniem amunicji oraz paliw stanowiących zagrożenie dla środowiska i działalności gospodarczej;
2. ocena ryzyka zdarzeń, które stwarzają możliwość utraty zdrowia, życia ludzkiego lub wystąpienia szkody w mieniu albo w środowisku, związanego z zatopionymi materiałami;
3. opracowanie metod oraz planu wdrożenia systemu monitoringu i wczesnego ostrzegania w zakresie uwalniania substancji niebezpiecznych do środowiska morskiego;
4. sformułowanie rekomendacji i wariantów technicznych działań neutralizacyjnych, takich jak wydobycie, izolacja, stabilizacja *in situ* lub inne formy zabezpieczenia, uwzględniających aspekty środowiskowe, technologiczne i ekonomiczne;
5. zapewnienie ram dla zarządzania kryzysowego w sytuacjach awaryjnych związanych z przypadkowym uszkodzeniem lub destabilizacją miejsc zatopienia.

W niniejszym dokumencie pojęcie **neutralizacji** stosowane jest w znaczeniu operacyjnym, odnoszącym się do działań technicznych prowadzących do eliminacji zagrożenia. Natomiast **proces neutralizacji** obejmuje pełny cykl działań przygotowawczych, analitycznych i organizacyjnych, których celem jest doprowadzenie do skutecznej neutralizacji w terenie. Poniższe definicje opracowano na podstawie terminologii stosowanej w dokumentach NATO (AAP-6 – *NATO Glossary of Terms and Definitions*; STANAG 4518), ONZ (IATG 01.40:2021 – *Glossary of Terms, Definitions and Abbreviations*; IMAS; UNMAS, 2020; UNTERM) oraz zasad zarządzania ryzykiem określonych w normie ISO 31000:2018 i koncepcji ALARP (HSE, 2001 – *Reducing Risks, Protecting People*). Definicje te uwzględniają interpretacje przyjęte w PNZ w odniesieniu do zagrożeń, takich jak: UXO, BŚT oraz paliwa i produkty ropopochodne.

Proces neutralizacji zagrożeń to uporządkowana, interdyscyplinarna sekwencja działań analitycznych, organizacyjnych i technicznych prowadzących do skutecznej likwidacji zagrożeń dla środowiska. Obejmuje on etapy: identyfikacji, lokalizacji, rozpoznania, oceny ryzyka, klasyfikacji, wyboru metod działania oraz planowania i nadzoru nad ich wdrożeniem, a także monitoring i ocenę skuteczności.

Celem procesu neutralizacji zagrożeń jest redukcja ryzyka środowiskowego, technicznego i społeczno-ekonomicznego do poziomu akceptowalnego, z wykorzystaniem dostępnych technologii oraz zasad zarządzania ryzykiem zgodnych z normą ISO 31000 i koncepcją ALARP.

Neutralizacja zagrożeń to działanie techniczne lub zestaw działań wykonawczych prowadzących do trwałego usunięcia, zniszczenia, zabezpieczenia lub odizolowania zidentyfikowanego źródła zagrożenia – w przypadku PNZ takiego jak: amunicja konwencjonalna, bojowe środki trujące, paliwa i produkty

ropopochodne – w sposób eliminujący lub istotnie ograniczający jego szkodliwe oddziaływanie na środowisko. Efektem neutralizacji zagrożenia jest pozbawienie zidentyfikowanego źródła zagrożenia właściwości niebezpiecznych do poziomu uznanego za akceptowalny poziom ryzyka resztkowego zgodnie z zasadą ALARP lub uczynienie obiektu bezpiecznym.

Poszczególne metody neutralizacji, wraz z ich parametrami, zaletami, ograniczeniami i efektywnością, przedstawiono w rozdziale

Technologie neutralizacji i remediacji.

Plan Neutralizacji Zagrożeń opracowano na podstawie umowy projektowej PM.372.1.2025.JG (część 1 Zamówienia: wrak T/S Franken).

Metodyka opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń

PNZ przygotowano w dwóch komplementarnych etapach:

- **Część I** – analiza wstępna, stanowiąca syntezę dotychczasowej wiedzy, identyfikację potencjalnych zagrożeń oraz przegląd dostępnych metod neutralizacji. Część ta jest niezależna od wyników badań przeprowadzonych w ramach projektu;
- **Część II** – analiza szczegółowa oparta na wynikach badań terenowych i laboratoryjnych, obejmująca zidentyfikowane obiekty, przypisane im metody neutralizacji, ocenę ryzyka, koszty oraz zalecenia dotyczące wdrożenia i monitoringu.

Metodyka opracowania Części I

Część I opracowano w oparciu o:

- analizę materiałów archiwalnych, historycznych i źródłowych dotyczących lokalizacji, charakterystyki oraz zawartości wraku;
- analizę dokumentów archiwalnych i źródłowych dotyczących lokalizacji, charakterystyki i składu zatopionych materiałów niebezpiecznych, w tym amunicji konwencjonalnej i chemicznej oraz substancji ropopochodnych;
- przegląd wyników prac badawczo-rozwojowych i projektów międzynarodowych, w szczególności: DAIMON⁷ oraz DAIMON 2⁸;
- analizę porównawczą dostępnych technologii neutralizacji zagrożeń, procedur bezpieczeństwa oraz metod zarządzania ryzykiem;
- przegląd i ocenę obowiązujących regulacji krajowych i międzynarodowych w zakresie wydobycia, transportu, neutralizacji i monitoringu substancji niebezpiecznych;
- studia przypadków zrealizowanych operacji neutralizacji i oczyszczania wraków w różnych warunkach środowiskowych;

Metodyka opracowania Części II

Część II opracowano na podstawie wyników badań terenowych i laboratoryjnych, prowadzonych w ramach projektu „Rozpoznanie i ewentualna neutralizacja materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego”, obejmujących badania środowiska, stanu wraku (badania fotogrametryczne) oraz modelowanie rozlewów (dalej: Badania 2025-26).

Wyniki Badań 2025-26 stanowiły podstawę do identyfikacji potencjalnych zagrożeń związanych z wrakiem, w szczególności obecności paliwa w zbiornikach, amunicji konwencjonalnej lub ewentualnych wycieków, a także do sformułowania wniosków dotyczących zasad dalszego

⁷ Projekt DAIMON - *Decision Aid for Marine Munitions*, finansowany w ramach INTERREG BSR Programme 2014-2020

⁸ Projekt DAIMON 2 - *Decision Aid for Marine Munitions: Practical Application*, finansowany w ramach INTERREG BSR Programme 2014-2020, <http://www.daimonproject.com/>

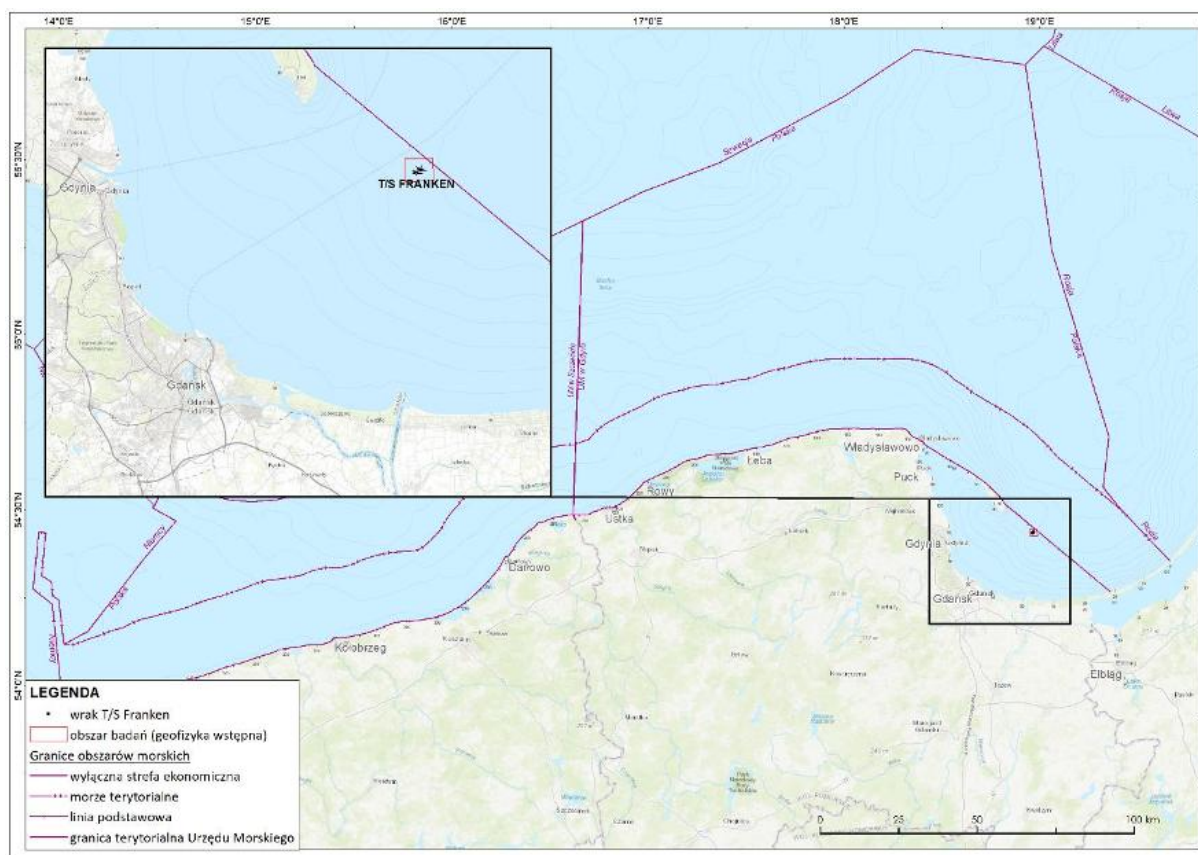
postępowania, w tym określenia potrzeby działań neutralizacyjnych lub przyjęcia ścieżki zarządzania ryzykiem w przypadku ich niepodejmowania.

Syntetyczny opis badanego obszaru

Wrak T/S Franken spoczywa na dnie południowego Bałtyku, na akwenu wewnętrznych wód morskich Zatoki Gdańskiej. Jego lokalizacja została precyzyjnie określona w toku prac badawczych inwentaryzacyjnych prowadzonych m.in.: przez Instytut Morski w Gdańsku, Fundację MARE, a także w ramach projektów międzynarodowych takich jak: DAIMON (Hac B., 2018; Hac B, Sarna O., 2021; OE-364, 2021). Wrak znajduje się na wschód od Półwyspu Helskiego, w odległości około 13 km od jego linii brzegowej (Tabela 1), na akwenu położonym w całości w granicach terytorium Polski (OE-364, 2021).

W bazie danych wraków Biura Hydrograficznego Marynarki Wojennej RP wrak T/S Franken widnieje pod nazwą WK-0140, posiada status aktywny/jawny oraz kategorię przeszkoda. Pozycja wraku w danych BHMW to: $\phi = 054^{\circ}32'19,452''$ N; $\lambda = 018^{\circ}57'57,024''$ E.

Dotychczasowe badania sonarowe i batymetryczne wskazały na istnienie dwóch części wraku. Główna część wraku, zawierająca część rufową i śródkręcie wraz z dziobową nadbudówką o łącznej długości ok. 130 m, jest oddalona o ok. 420 m od części dziobowej o długości ok. 50 m. Potrzeba zbadania obu części wraku Franken spowodowała, że badaniami w ramach projektu objęto obszar o powierzchni około 5 km² (Rysunek 1).



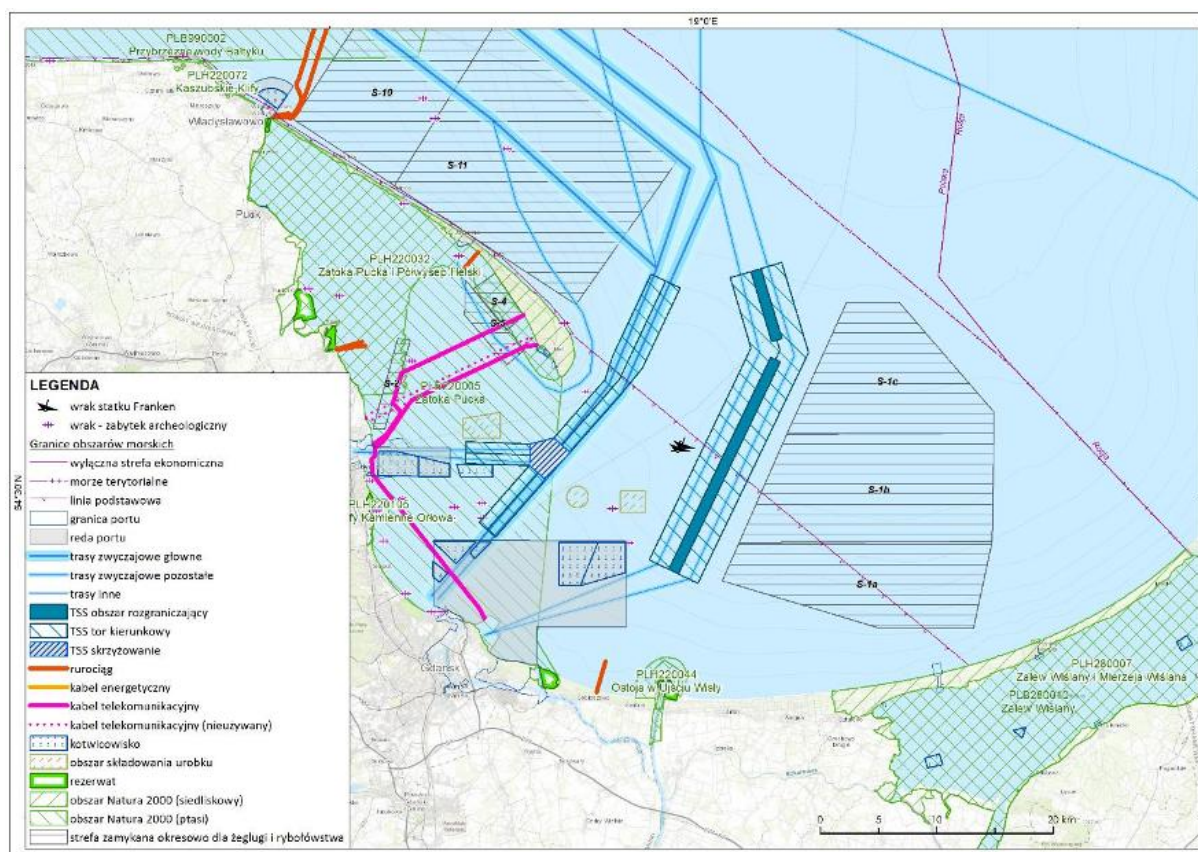
Rysunek 1. Lokalizacja obszaru badawczego w rejonie wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne)

Obszar zalegania wraku to akwen stosunkowo głęboki, z typowym dla Bałtyku południowego ograniczonym zasoleniem (średnio 7–8 PSU) oraz stosunkowo niską dynamiką prądów morskich

(Pastuszek i in., 2018; HELCOM, 2013). Głębokość akwenu w miejscu zalegania wraku wynosi ok. 69 m, a dno charakteryzuje się łagodną morfologią, pokrytą osadami piaszczysto-mulistymi o znacznej zawartości materii organicznej (Hac B, Sarna O., 2021; IO PAN, 2017).

W bezpośrednim sąsiedztwie wraku znajdują się obszary o wysokiej wartości przyrodniczej i społecznej. Szczególnie istotne są obszary powołane w ramach europejskiej sieci ekologicznej Natura 2000: Zatoka Pucka i Półwysep Helski PLH220032 oraz Zatoka Pucka PLB220005 (Tabela 1), które obejmują siedliska cenne przyrodniczo, w tym miejsca bytowania ptaków wodno-błotnych i foki szarej (*Halichoerus grypus*) (GDOŚ, 2023). W strefie ujścia Wisły znajduje się również Rezerwat przyrody Mewia Łacha, utworzony w celu ochrony siedlisk ptaków i fok.

W pobliżu miejsca zalegania wraku przebiegają szlaki żeglugowe o znaczeniu krajowym i międzynarodowym prowadzące do portów morskich w Gdyni i Gdańsku objęte Systemem Rozgraniczenia Ruchu Statków „Zatoka Gdańska”: TSS „WSCHÓD” i TSS „ZACHÓD”⁹. Statki płynące do Portu Północnego w Gdańsku i w kierunku przeciwnym powinny korzystać z systemu rozgraniczenia ruchu „WSCHÓD”, natomiast statki płynące do Gdyni oraz do Nowego Portu w Gdańsku i w kierunku przeciwnym korzystają z części północno-wschodniej i południowo-zachodniej systemu rozgraniczenia ruchu „ZACHÓD” (Rysunek 2).



Rysunek 2. Lokalizacja wraku T/S Franken z uwzględnieniem innej działalności w rejonie Zatoki Gdańskiej (źródło: opracowanie własne na bazie SIPAM)

⁹ System rozgraniczenia ruchu statków „Zatoka Gdańska” został ustanowiony przez Międzynarodową Organizację Morską (IMO) na mocy okólnika COLREG.2/Circ.59 z dnia 23 października 2007 r. oraz zaleceń SN.1/Circ.263.

Zarządzeniem porządkowym Nr 4 Dyrektora Urzędu Morskiego w Gdyni z dnia 10 maja 2022 r. *w sprawie zakazu nurkowania i rybołówstwa w rejonie wraku statku „Franken”* (Dz. Urzęd. Województwa Pomorskiego poz. 1776) wprowadzono zakaz nurkowania i rybołówstwa na akwenu o promieniu 300 m od pozycji zalegania wraku T/S Franken mający na w celu ochronę środowiska morskiego. Zakaz ten został zniesiony Zarządzeniem porządkowym Nr 14 Dyrektora Urzędu Morskiego w Gdyni z dnia 2 sierpnia 2023 r. *uchylające zarządzenie porządkowe w sprawie zakazu nurkowania i rybołówstwa w rejonie wraku statku „Franken”* (Dz. Urzęd. Województwa Pomorskiego poz. 3706). Część kadłuba wraku T/S Franken znajduje się w wykazie wraków udostępnionych do pletwonurkowania¹⁰. Obszar zalegania wraku objęty jest też eksploatacją połowową oraz umiarkowaną aktywnością rekreacyjną i turystyczną.

Tabela 1. *Odległość miejsca zalegania wraku Franken od kluczowych obszarów (źródło: opracowanie własne na podstawie SIPAM)*

Lp.	Miejsce kluczowe	Odległość [km]
1.	Zatoka Pucka i Półwysep Helski PLH220032	12
2.	Zatoka Pucka PLB220005	10
3.	Ostoja w Ujściu Wisły PLH220044, Ujście Wisły PLB220004	18
4.	Rezerwat przyrody Mewia Łacha	18
5.	„TSS – WSCHÓD” – zewnętrzna granica	2
6.	„TSS – ZACHÓD” – zewnętrzna granica	7
7.	Port Morski Hel	13
8.	Port Morski Gdańsk – Port Północny	22
9.	Port Morski Gdynia	26
10.	Port Morski Nowy Świat	29
11.	Linia podstawowa – morze terytorialne	1
12.	Granica z Federacją Rosyjską	27

Z punktu widzenia administracyjnego i gospodarczego miejsce zalegania wraku znajduje się w obszarze podlegającym jurysdykcji Dyrektora Urzędu Morskiego w Gdyni.

Jednym z narzędzi zarządzania obszarami morskimi są ich plany zagospodarowania przestrzennego. Obecnie obowiązującym planem na morskich wodach wewnętrznych Zatoki Gdańskiej jest PZPPOM (2021), procedowany jest natomiast projekt planu zagospodarowania przestrzennego morskich wód wewnętrznych części Zatoki Gdańskiej (projekt z dnia 4 lutego 2025 r.), który po przyjęciu zastąpi swoimi rozstrzygnięciami PZPPOM. W ostatnim planie, obszar zalegania wraku Franken zawiera się w akwenu ZGD.14.Pr o przeznaczeniu ogólnym, który – uwzględniając zasadę oszczędnego gospodarowania przestrzeni – pozostawia się dla potrzeb przyszłych, a obecnie nierozpoznanych, sposobów wykorzystania (funkcja podstawowa – *Rezerwa dla przyszłego rozwoju lokalnego*). W akwenu tym nie wprowadzono ograniczeń dla realizacji funkcji dopuszczalnych, które wiązałyby się z obecnością wraku Franken, wrak jest jedynie przywołany w opisie uwarunkowań do akwenu. W karcie akwenu ZGD.14.Pr wprowadzono jednakże zasady przestrzenne dla realizacji infrastruktury technicznej – realizacja i eksploatacja obiektów i urządzeń infrastruktury przesyłu węglowodorów oraz

¹⁰ https://www.umgdy.gov.pl/wp-content/uploads/2023/08/PM_4_Wykaz_wrakow_udost_46_20230809.pdf
(stan na dzień 9 sierpnia 2023 r.)

biometanu, a także wodoru i innych gazów przemysłowych ograniczona jest do podakwenu 14.01.I, zaś infrastruktura łączności dopuszczona jest w całym akwencie. Podakwen 14.01.I poprowadzony jest poza obszarem zalegania wraku Franken. W całym akwencie zakazuje się wydobywania kopalin ze złóż.

Na moment opracowania PNZ na analizowanym obszarze nie zostały wydane żadne pozwolenia na wznoszenie lub wykorzystywanie sztucznych wysp, konstrukcji i urządzeń (PSZW) ani pozwolenia na układanie i utrzymywanie kabli (PUUK).

CZĘŚĆ I

1 ZATOPIONE MATERIAŁY NIEBEZPIECZNE

Ze względu na interdyscyplinarność projektu „Rozpoznanie i ewentualna neutralizacja materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego...”, w źródłach mogą występować różne określenia obiektów stwarzających zagrożenie. W niniejszym PNZ przyjęto wspólny termin używany w dokumentach normatywnych „przedmioty wybuchowe i niebezpieczne (PWiN)” jako pojęcie parasolowe, obejmujące w szczególności:

- **UXO** (*unexploded explosive ordnance*) – niewybuchy,
- **AXO** (*abandoned explosive ordnance*) – porzucone środki wybuchowe.

Po zakończeniu konfliktów zarówno UXO, jak i AXO klasyfikowane są zbiorczo jako **ERW** (*explosive remnants of war* – wybuchowe pozostałości po wojnach).

Na potrzeby spójności terminologicznej PNZ opiera się na definicjach stosowanych w dokumentach międzynarodowych i krajowych. Komplet definicji stosowanych w PNZ zamieszczono na początku dokumentu.

Paliwa i substancje ropopochodne nie są klasyfikowane jako PWiN, lecz jako inne materiały niebezpieczne zatopione w środowisku morskim.

Zgodnie z art. 32.b ustawy z dnia 21 marca 1991 r. *o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej* (Dz.U. 1991 nr 32 poz. 131 z późn. zm.) *Zatopione materiały niebezpieczne* oznaczają następujące kategorie substancji i obiektów zalegających w polskich obszarach morskich:

- amunicję (określoną w art. 3 ust. 1 pkt 1 ustawy z dnia 13 czerwca 2019 r. *o wykonywaniu działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania i obrotu materiałami wybuchowymi, bronią, amunicją oraz wyrobami i technologią o przeznaczeniu wojskowym lub policyjnym* – (t.j. Dz.U. 2023 poz. 1743 z późn. zm.);
- broń (określoną w art. 3 ust. 1 pkt 2 powyższej ustawy);
- materiały wybuchowe (określone w art. 3 ust. 1 pkt 9 powyższej ustawy);
- broń chemiczną (określoną w ustawie z dnia 22 czerwca 2001 r. *o wykonywaniu Konwencji o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów* – Dz.U. 2018 poz. 359);
- wraki (określone w art. 35a ust. 1a, na których lub w bezpośredniej bliskości których znajdują się pozostałości paliwa, różnego rodzaju substancje ropopochodne lub obiekty i substancje wypunktowane wyżej, tj.: amunicja, broń, materiały wybuchowe lub broń chemiczna).

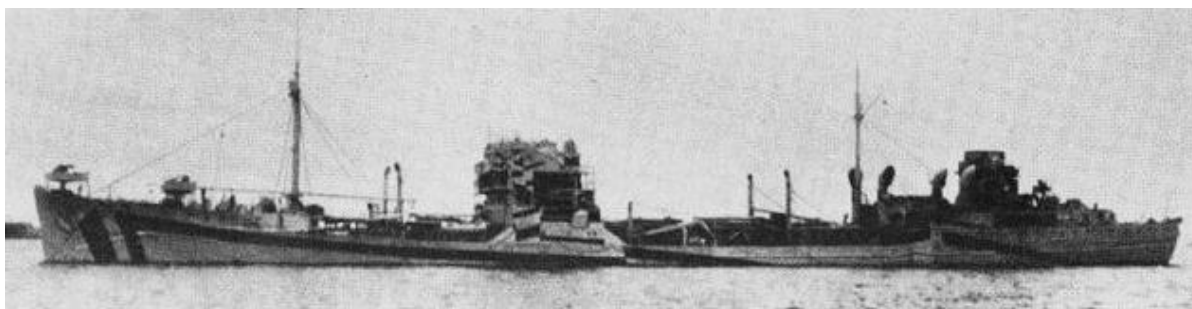
W polskich obszarach morskich zidentyfikowano wiele źródeł zagrożeń, obejmujących zarówno wraki z paliwem i amunicją, jak i miejsca zatopień broni chemicznej oraz konwencjonalnej. Największe skupiska znajdują się w rejonie Głębi Gdańskiej i Rynny Słupskiej, które stanowią przedmiot odrębnych planów neutralizacji. Niniejszy Plan Neutralizacji Zagrożeń odnosi się do obszaru zalegania wraku T/S Franken – jednego z najistotniejszych punktowych źródeł zagrożeń na Zatoce Gdańskiej.

1.1 Opis i ocena stanu T/S Franken

Wrak T/S Franken¹¹

Określenie skali zagrożenia związanego z materiałami niebezpiecznymi zalegającymi we wraku oraz w jego otoczeniu opiera się na analizie historycznej jednostki, przebiegu wykonywanych operacji, skali jej zaangażowania oraz na wynikach badań przeprowadzonych w ramach projektu.

T/S Franken był niemiecką jednostką zaopatrzeniową. Jego budowa rozpoczęła się 18 lutego 1937 roku w stoczni Deutsche Werke AG w Kilonii, stępkę położono 7 grudnia 1937 roku, a kadłub zwodowano 8 czerwca 1939 roku. Okręt wszedł do służby w Kriegsmarine 17 marca 1943 roku i został przydzielony do Troßschiffverband Nord, operując wyłącznie na Morzu Bałtyckim. Początkowo oznaczony jako „Okręt Zaopatrzeniowy C”, później otrzymał nazwę Franken (Rysunek 3). Okręt należał do klasy Dithmarschen, charakteryzującej się nowoczesnym projektem z niezależnymi silnikami, wysoką prędkością (do 21 węzłów) i znaczną pojemnością ładunkową. Był jednostką transportowo-zaopatrzeniową Kriegsmarine, silnie uzbrojonym zbiornikowcem floty, czasami (ze względu na kaliber uzbrojenia głównego równy 150 mm) klasyfikowany był jako krążownik pomocniczy (Tabela 2).



Rysunek 3. T/S Franken na wodach Zatoki Gdańskiej w końcowym okresie wojny. (źródło: Kieser E. 1984)

Tabela 2. Zestawienie parametrów technicznych okrętu T/S Franken (źródło: opracowanie własne w oparciu o Bauvorschrift Maschine FRANKEN oraz Bauvorschrift Schiffskörper FRANKEN)

Parametr	Wartość/opis
Tonaż rejestrowy [BRT]	11 115
Wyporność [t]	22 850
Długość całkowita [m]	179
Długość linii wodnej [m]	175
Szerokość [m]	22
Zanurzenie [m]	10,2
Maksymalna prędkość [w.]	20,9
Napęd	cztery dziewięciocylindrowe silniki diesla MAN (24 000 KM), dwie stałe śruby (średnica 5,2 m)
Zasięg przy prędkości 15 węzłów [Mm]	12 000 (1465 t MDO)
Ładowność statku	12 367 ton (9400 ton paliwa, 972 tony amunicji, 790 ton prowiantu, 208 ton części zamiennych)
Uzbrojenie	3 działa – kaliber 150 mm L/45, 8 karabinów maszynowych, 16 działek przeciwlotniczych – kaliber 20 mm,

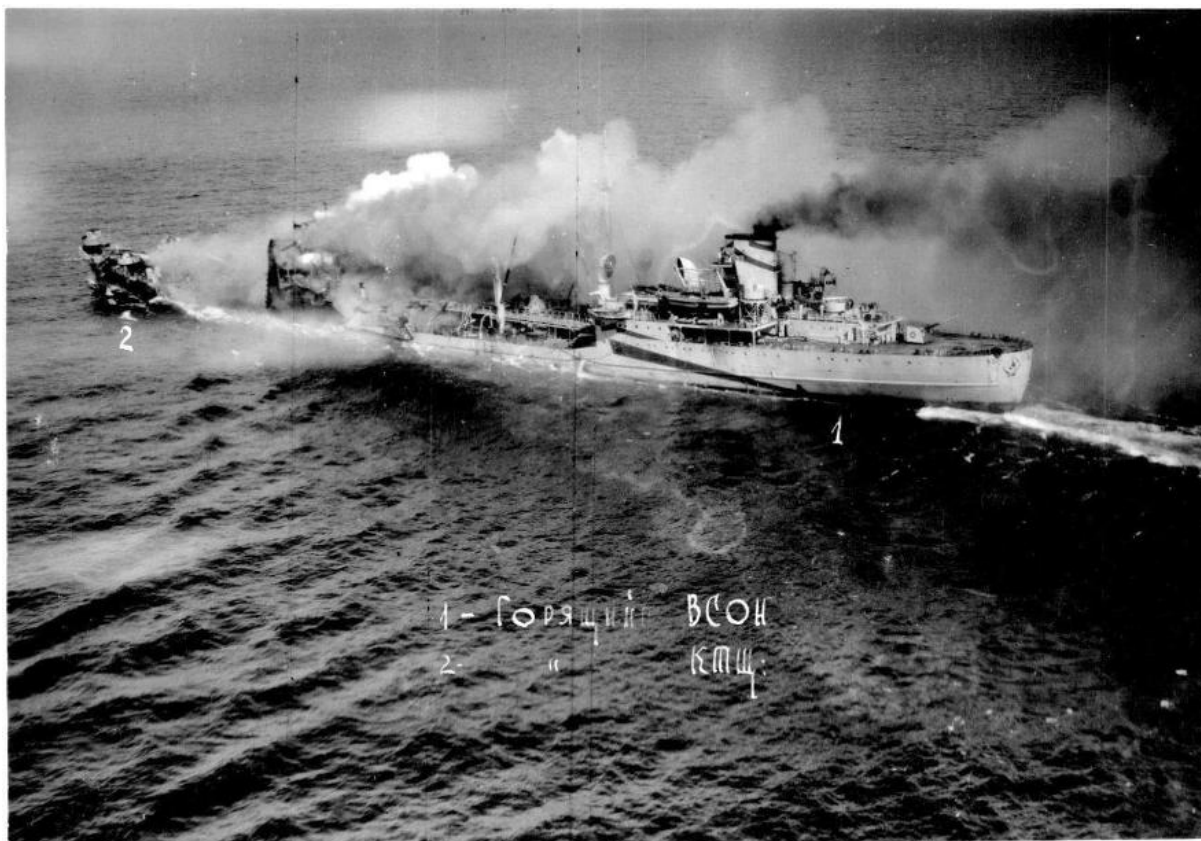
¹¹ pełny opis historyczny obiektu znajduje się w Załączniku 1

Parametr	Wartość/opis
	6 działek przeciwlotniczych – kaliber 37 mm, 1 wyrzutnia lin (raketowa)
Załoga	15 oficerów, 155–193 marynarzy
Dodatkowe wyposażenie	szpital polowy, warsztat, chłodnie, miejsce na samolot (na Franken niewykorzystane)

T/S Franken był kluczowym elementem logistycznym Kriegsmarine, dostarczając okrętom paliwo, amunicję, prowiant i części zamienne. Działał głównie w rejonie Zatoki Gdańskiej, wspierając 2. Grupę Bojową (Kampfgruppe Thiele/Rogge) od końca 1944 do początku 1945 roku. Współpracował z jednostkami takimi jak: ciężki krążownik Prinz Eugen, pancerniki kieszonkowe Lützow i Admiral Scheer, niszczyciele oraz kutry torpedowe. W miarę jak postępy armii sowieckiej i bombardowania portu w Gdyni zakłócały linie zaopatrzenia, T/S Franken stał się głównym źródłem dostarczania zasobów, przekazując zaopatrzenie na morzu za pośrednictwem mniejszych jednostek. Brał także udział w ewakuacjach i wspierał siły lądowe ogniem artyleryjskim.

T/S Franken był niezbędny do utrzymania zdolności operacyjnych floty bałtyckiej w ostatnich miesiącach wojny (marzec–kwiecień 1945), szczególnie w obliczu załamania się innych linii zaopatrzenia. W ostatnich dniach marca i na początku kwietnia 1945 roku intensywnie przekazywał zapasy, w tym amunicję i paliwo innym okrętom. 1 kwietnia 1945 roku zgłoszono krytycznie niskie zapasy paliwa w regionie (2500 m³ oleju napędowego, 500 m³ ciężkiego paliwa okrętowego) zaś 2 kwietnia T/S Franken uderzył w minę, doznając uszkodzenia kadłuba i steru. Mimo wszystko okręt pozostał operacyjny. Mimo rozkazu przeniesienia ładunków, przejął amunicję z transportowca RO 7 6 kwietnia 1945 r.

T/S Franken zatonął 8 kwietnia 1945 roku w wyniku bombardowania przez sowieckie samoloty. O godzinie 11:38 kilka bomb, prawdopodobnie FAB-100, trafiło w dziób, wywołując potężną eksplozję paliwa i amunicji, która odcięła przednią część okrętu i spowodowała wtórne wybuchy amunicji i paliwa (Rysunek 4). Okręt stanął w płomieniach, przechylił się i zatonął w ciągu około jednej godziny.



Rysunek 4. T/S Franken w kilka minut po krytycznym trafieniu bombami lotniczymi. Widać oderwaną i już tonącą część dziobową okrętu oraz ogarniętą pożarem nadbudówkę główną. Po lewej burcie widać również rozlewającą się skośnie plamę paliwa z uszkodzonych zbiorników (źródło: Балтийский флот, авиация ВМФ, операционные отчёты (апрель 1945), „Военный альбом”)

1.1.1 Zatopione materiały niebezpieczne i ich stan

Szacuje się, że we wraku T/S Franken, w nieuszkodzonych zbiornikach może znajdować się 120–1440 m³ ciężkiego paliwa (HFO) stwarzającego ryzyko zanieczyszczenia wód lub osadów dennych oraz do 70–950 m³ paliw lekkich (umownie MGO), które mogą stanowić zagrożenie dla wód powierzchniowych. Kalkulacje obecności olejów we wraku przedstawiono w rozdziale *Analiza i zarządzanie ryzykiem*. Dodatkowo w obrębie jednostki występują niewybuchy, uznawane za możliwe do opanowania przy zachowaniu odpowiednich środków ostrożności. Wrak ma także wartość historyczną jako obiekt z okresu II wojny światowej i stanowi przedmiot zainteresowania badaczy oraz nurków.

1.1.1.1 Paliwa i produkty olejowe na wraku T/S Franken

T/S Franken przewoził paliwo zarówno dla innych jednostek Kriegsmarine, jak i na potrzeby własne. Był okrętem wsparcia (zaopatrzenia grupy Thiele w paliwo, smary, wodę, oraz amunicję i torpedy). Całkowity potencjał przewozowy oceniany jest na około 9500 ton, z czego znaczącą część mogło stanowić paliwo ciężkie (HDO). Analiza raportów historycznych (odszyfrowanych raportów ULTRA) wskazuje, że w dniach poprzedzających zatonięcie okręt intensywnie przekazywał paliwo i amunicję innym jednostkom, pełniąc rolę kluczowego okrętu zaopatrzeniowego. Raporty z 1 kwietnia 1945 roku wskazują na krytycznie niskie zapasy paliwa w rejonie Helu, co podkreśla poważne wyczerpanie zasobów okrętu.

Na podstawie dokumentacji stoczniowej „Bauvorschrift Franken”¹² ustalono, że na potrzeby własne jednostka wykorzystywała głównie olej napędowy do zasilania silników głównych i pomocniczych oraz olej opałowy do kotłów pomocniczych i kuchenek. W analizowanych dokumentach nie znaleziono informacji o stosowaniu ciężkiego paliwa HDO jako paliwa własnego (Tabela 3).

Tabela 3. Paliwa używane dla potrzeb własnych na T/S Franken (źródło: Bauvorschrift für den Maschinenanlage des Trossschiffes „Franken“)

Rodzaj paliwa	Zastosowanie	Parametry/Zużycie	Uwagi
Olej napędowy	silniki główne i pomocnicze	zużycie: 172 g/KM/h (główne), 178 g/KM/h (pomocnicze), wartość opałowa: min. 10 000 kcal/kg	systemy oczyszczania, przechowywania, transfer
Olej opałowy	kotły pomocnicze, kuchenka	brak szczegółowych danych zużycia	zbiornik zużycia z węzownicą grzewczą

Oprócz paliw podstawowych we wraku T/S Franken mogą znajdować się także inne materiały niebezpieczne, w tym: oleje i smary techniczne, a także detergenty. Choć ich ilości były nieporównywalnie mniejsze niż zapasy paliw, substancje te mogą w dłuższej perspektywie przyczyniać się do lokalnego skażenia środowiska.

Oleje bazowe i dodatki stosowane w środkach smarnych mogą nie tylko mieć katastrofalne skutki dla środowiska, ale także być toksyczne dla zdrowia. Informacje o przeznaczeniu, typowych związkach i funkcji olejów oraz smarów technicznych lub ich komponentów przedstawiono w tabeli (Tabela 4).

Tabela 4. Informacja o dodatkach do olejów i smarów technicznych (źródło: opracowanie własne)

Rodzaj dodatku	Przeznaczenie	Typowe związki	Funkcje
Środki przeciwozużywcze (AW) i ekstremalnych ciśnień (EP)	Zmniejszenie tarcie i zużycia oraz zapobieganie zatarciom	Ditiofosforany cynku, fosforany organiczne, fosforany kwasowe, organiczne związki siarki i chloru, tłuszcze siarkowane, siarczki i disiarczki	Reakcja chemiczna z powierzchnią metalu w celu utworzenia warstwy o niższej wytrzymałości na ścinanie niż metal, zapobiegając w ten sposób kontaktowi metal-metal
Inhibitory korozji i rdzy	Zapobieganie korozji i rdzewieniu części metalowych mających kontakt ze środkiem smarnym	Ditiofosforany cynku, fenolany metali, zasadowe sulfoniany metali, kwasy tłuszczowe i aminy	Preferencyjna adsorpcja składników polarnych na powierzchni metalu w celu zapewnienia warstwy ochronnej lub neutralizacji kwasów powodujących korozję
Detergenty	Utrzymanie powierzchni wolnej od osadów	Związki metaloorganiczne sodu, wapnia i fenolany magnezu, fosfoniany i sulfoniany	Reakcja chemiczna z prekursorami osadów i lakierów w celu ich neutralizacji i utrzymania rozpuszczalności
Dyspergenty	Utrzymanie nierozpuszczalnych zanieczyszczeń w stanie rozproszonym w środku smarnym	Alkilosukcynimidy, estry alkilobursztynowe i produkty reakcji Mannicha	Zanieczyszczenia są wiązane poprzez polarne przyciąganie do cząsteczek dyspergatora, co zapobiega ich aglomeracji i utrzymuje je w zawiesinie dzięki rozpuszczalności dyspergatora
Modyfikatory tarcia	Zmiana współczynnika tarcia	Organiczne kwasy tłuszczowe i amidy, olej smalcowy,	Preferencyjna adsorpcja materiałów powierzchniowo czynnych

¹² Deutsche Werte Kiel AKTIENGESELLSCHAFT Bauvorschrift für den Schiffstörper Troffschiff „Franken“ Oberhommando der Kriegsmarine hauptamt für Kriegsschiffbau Archiv u. Plank. K I Cantsch nr 419

Rodzaj dodatku	Przeznaczenie	Typowe związki	Funkcje
		wysokocząsteczkowe organiczne estry fosforu i kwasu fosforowego	
Depresanty temperatury krzepnięcia	Umożliwienie płynięcia środka smarnego w niskich temperaturach	Alkilowane polimery naftalenu i fenoli, polimetakrylany, maleinian/fumeran estry kopolimerowe	Modyfikują formowanie się kryształów wosku, aby zmniejszyć zazębienie się
Środki pęczniące do uszczelnień	Pęcznienie uszczelek elastomerowych	Fosforany organiczne i węglowodory aromatyczne	Reakcja chemiczna z elastomerem powodująca lekkie pęcznienie
Modyfikatory lepkości	Zmniejszenie szybkości zmian lepkości wraz z temperaturą	Polimery i kopolimery olefin, metakrylanów, dienów lub alkilowanych styrenów	Polimery rozszerzają się wraz ze wzrostem temperatury, aby przeciwdziałać rozrzedzaniu oleju
Środki przeciwpieniące	Zapobieganie tworzeniu się trwałej piany przez smar	Polimery silikonowe, kopolimery organiczne	Zmniejszają napięcie powierzchniowe, aby przyspieszyć zapadanie się piany
Przeciwutleniacze	Opóźnienie rozkładu oksydacyjnego	Ditiofosforany cynku, fenole z zawadą przestrzenną, aminy aromatyczne, fenole siarkowane	Rozkładają nadtlaki i zatrzymują reakcje wolnorodnikowe
Dezaktywatory metali	Zmniejszenie katalitycznego wpływu metali na szybkość utleniania	Kompleksy organiczne zawierające azot lub siarkę, aminy, siarczki i fosforyny	Tworzą nieaktywną warstwę na powierzchniach metali poprzez kompleksowanie z jonami metali

Oleje bazowe zawierają związki zwane wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA), które mogą występować w ponad 100 różnych kombinacjach. WWA występują naturalnie w środowisku, ale mogą być również wytwarzane przez człowieka. Występują w smołach, węglu i różnych olejach jadalnych. WWA to zanieczyszczenia pozostające po procesie rafinacji, przez co oleje grupy I uważa się za rakotwórcze. Siedem WWA znajduje się na liście priorytetowych substancji chemicznych EPA: acenaften, acenaftylen, antracen, benzo(ghi)perylen, fluoren, fenantren oraz piren.

Zbiorniki paliwowe i olejowe

T/S Franken wyposażono w rozbudowany system zbiorników paliwowych i olejowych, których łączna objętość wynosi 13 347,99 m³. Analiza dokumentacji technicznej oraz badań nurkowych pozwala wyróżnić kilka podstawowych typów zbiorników oraz określić ich rozmieszczenie i pojemności:

- zbiorniki paliwowe:
 - zbiorniki transportowe do przewozu paliwa (nafta lotnicza, paliwo lekkie, diesel, paliwo ciężkie, olej opałowy);
 - zbiorniki użytkowe okrętu głównie przechowywały olej napędowy, używany do zasilania silników głównych i pomocniczych, oraz olej opałowy wykorzystywany w kotłach pomocniczych i urządzeniach pokładowych (np. kuchnia);
- zbiorniki olejowe – obejmowały oleje smarowe, cylindrowe, sprężarkowe oraz antykorozyjne, niezbędne do utrzymania i konserwacji maszyn;
- zbiorniki odpadowe – brudny olej ładunkowy, oczyszczacz oleju ładunkowego, olej brudny;
- zbiorniki na media pomocnicze – takie jak woda pitna, woda użytkowa oraz różne substancje chemiczne, np. detergenty.

Pojemności poszczególnych zbiorników paliwowych wahały się od kilkunastu do 1237,3 m³. Rozmieszczenie zbiorników było podporządkowane potrzebom funkcjonalnym jednostki – paliwo i media transportowane dla innych jednostek zajmowały część środkową i dziobową okrętu, paliwa i smary znajdowały się w bezpośrednim sąsiedztwie maszynowni, a zbiorniki pomocnicze rozmieszczono w różnych sekcjach okrętu (Tabela 5, Rysunek 5).

Tabela 5. Wykaz zbiorników zawierających paliwa transportowane przez T/S Franken lub olej opałowy używane do napędu silników lub zasilania kotłów (źródło: T/S Franken – Plan załadunku paliwa; za: archiwum Freiburg)

Rodzaj medium	Objętość obliczeniowa [m ³]	Objętość netto [m ³]
olej ładunkowy	9808,0	9506,0
olej ładunkowy rezerwowy	1001,7	971,7
brudny olej ładunkowy	91,9	78,2
oczyszczacz oleju ładunkowego	91,9	78,2
olej smarowy	336,0	326,0
olej napędowy	1559,8	1513,5
czysty olej napędowy	73,8	62,8
przelew oleju napędowego	4,85	4,1
olej opałowy	190,6	190,75
olej przekładniowy	36,2	30,8
olej silnikowy	70,8	60,2
zbiornik zużycia oleju napędowego	-	37,0
olej brudny	34,9	29,7
olej smarowy	27,7	23,6
olej antykorozyjny	4,64	3,94
olej cylindrowy	15,18	13,0
paliwo lekkie, najprawdopodobniej benzyna lotnicza w zbiorniku na pokładzie	ilość nieustalona	

Konstrukcja zbiorników i ich rozmieszczenie wpływają na możliwości prowadzenia ewentualnych działań zabezpieczających, takich jak odpompowywanie paliwa i jego neutralizacja.

1.1.1.2 Nieodpompowane paliwa na okręcie (paliwo reszkowe)

Po odpompowaniu paliwa ze zbiorników statków w zbiornikach zazwyczaj pozostają tzw. nieodpompowalne resztki, które obejmują:

- osady i szlam (*sludge*) – zanieczyszczenia (np. piasek, metale), które osadzają się na dnie zbiorników w wyniku sedymentacji;
- paliwo w „martwych strefach” – w tych częściach zbiorników, do których nie sięgają rury ssące pomp, np. w narożnikach, zagłębieniach lub obszarach o złożonej geometrii;
- pozostałości w rurociągach i filtrach – paliwo uwięzione w przewodach paliwowych, separatorach lub filtrach;
- paliwo zmieszane z wodą lub zanieczyszczeniami – tworzące emulsje, które przylegają do ścian zbiorników i utrudniają pompowanie.

Ilość i skład nieodpompowanych resztek zależą od typu paliwa, konstrukcji okrętu, procedur eksploatacyjnych oraz czasu przechowywania paliwa w zbiornikach. W przypadku ciężkich paliw (takich jak HFO) mogą stanowić od 1,5 do 5% całkowitej objętości zbiorników paliwa. Szacuje się, że w przypadku T/S Franken może to być od 142 do 475 ton paliwa resztkowego, mogącego stanowić źródło zanieczyszczenia.

1.1.1.3 Paliwa syntetyczne

Niemcy nie posiadały dużych zasobów ropy naftowej, ale dysponowały bogatymi zasobami węgla, a także najnowocześniejszym przemysłem chemicznym na świecie. W tamtym czasie firma I.G. Farben była światowym liderem w dziedzinie chemii, a jej naukowcy wynaleźli metodę uwodornienia, umożliwiającą produkcję wysokiej jakości paliwa płynnego z węgla.

W momencie inwazji Niemiec na Polskę, 14 zakładów uwodornienia produkowało prawie 72 MBD (11,4 tys. m³), czyli 46% całkowitych niemieckich dostaw ropy naftowej i 95% całkowitej produkcji benzyny lotniczej dla wojska.

W latach 1940–1943 produkcja paliwa syntetycznego wzrosła prawie dwukrotnie do 124 MBD (19,7 tys. m³) i pokrywała 57% całkowitego zużycia ropy w Niemczech, w tym 92% benzyny lotniczej i 50% niemieckiego zapotrzebowania na benzynę. Jednak zakłady produkujące paliwo syntetyczne były często bombardowane przez alianckie samoloty i mogły produkować jedynie paliwo niskooktanowe, które nie nadawało się do użytku w samolotach bez dalszej, kosztownej i czasochłonnej, skomplikowanej rafinacji¹³.

Można zatem uznać, że paliwa syntetyczne mogły się teoretycznie znajdować na pokładzie T/S Franken, głównie w odniesieniu do paliw lekkich. Nie można też wykluczyć, że produkty FT były dodatkami rozcieńczającymi do ciężkich paliw okrętowych obniżającymi ich lepkość i temperaturę płynięcia.

Ogólnie rzecz biorąc, zapasy paliwa niemieckiej marynarki wojennej pozostawały dość stałe przez cały okres wojny. Bombardowania spowodowały uszkodzenia zarówno rafinerii ropy naftowej, jak i fabryk ropy syntetycznej, ale straty z tych pierwszych były generalnie rekompensowane ilościami syntetycznego oleju, których nie można było przetworzyć na benzynę w innych zakładach i które były dostępne jako paliwa uniwersalne.

1.1.1.4 Amunicja na wraku

Według danych technicznych jednostek klasy Dithmarschen T/S Franken miał zdolność przewozu ok. 972 ton amunicji różnego kalibru, zarówno dla własnych potrzeb, jak i w celu zaopatrzenia innych jednostek. W końcowej fazie działań w rejonie Helu T/S Franken pełnił funkcję istotnego zaplecza amunicyjnego, także dla jednostek wykorzystujących amunicję ciężkiego kalibru. Wskazuje na to rekonstrukcja transferów amunicji prowadzonych w dniach 5–6 kwietnia 1945 r., oparta na dziennikach wojennych i dokumentach operacyjnych Kriegsmarine, w tym m.in. na *KTB des Zerstörers Z 43* za okres 5–8 kwietnia 1945 r. oraz SKL KTB z 3 i 4 kwietnia 1945 r.

W dniach 5–6 kwietnia 1945 roku doszło do przekazania amunicji pomiędzy jednostkami – kuter KFK dostarczył 40 pocisków kalibru 203 mm na „Prinz Eugena”, a pancernik „Lützow” odebrał nocą cały

¹³ Źródło: <https://defense.info/re-thinking-strategy/2018/10/oil-and-war/>

zapas pocisków 280 mm z T/S Franken. Tego samego dnia T/S Franken przejął amunicję z transportowca „Orestes”, mimo rozkazu przeniesienia ładunków na inne jednostki, co wskazuje na rolę wspierającą mniejsze jednostki ostrzeliwujące garnizony niemieckie na Helu. W dniu zatopienia T/S Franken nie prowadzono dalszych działań zaopatrzeniowych. Z rekonstrukcji działań logistycznych w dniach poprzedzających zatopienie wynika, że pobrana amunicja obejmowała minimum 1200 pocisków 127 mm, 1200 pocisków 150 mm oraz 4800 pocisków 105 mm, natomiast amunicja o większym kalibrze (203 i 280 mm) została przekazana wcześniej. Nie ma jednak pełnych danych potwierdzających skalę dalszych transferów, a szacunki co do ilości amunicji pozostałej we wraku różnią się w zależności od źródeł.

Pożar, który wybuchł na środkowym pokładzie, objął skład amunicji na pokładzie i nie został ugaszony przed ewakuacją załogi. Główne magazyny amunicji znajdowały się w dziobowej części okrętu (przed nadbudówką dziobową) i uległy zniszczeniu w trakcie wybuchu po ataku rosyjskich samolotów Ił-2. Relacje świadków oraz zdjęcia z jednostek ratunkowych potwierdzają wtórne eksplozje, których źródło nie jest jednoznacznie ustalone. Zniszczeniu lub rozproszeniu mogła ulec nieznana część amunicji, która prawdopodobnie spoczywa obecnie na dnie w różnych miejscach, różniących się od pozycji zatonięcia T/S Franken. Należy uwzględnić fakt, że w momencie wybuchu, ale jeszcze przed zatonięciem T/S Franken był w ruchu i dość długo się przemieszczał. Część dziobowa okrętu, w której były magazyny amunicji, leży w odległości około 420 m od części głównej wraku.

T/S Franken był wyposażony w armaty kalibru 150 mm, działa przeciwlotnicze 37 i 20 mm oraz wyrzutnię rakiet służących do obrony przed samolotami nisko lecącymi. Maksymalny zapas amunicji na własny użytek szacuje się na około 600 pocisków 150 mm, 12 000 pocisków 37 mm, 32 000 pocisków 20 mm oraz 8 rakiet kierowanych.

Fotografie podwodne wykonane podczas ekspedycji Fundacji MARE w 2018 roku potwierdzają obecność pocisków kalibru 150 mm w magazynach podręcznych (barbecie) działa na rufie i dział burtowych wraku (Hac i Sarna 2021).

W celu ograniczenia ryzyka eksplozji po pożarze, tylne podręczne magazyny amunicyjne zostały celowo zalane. Mimo że amunicja przeciwlotnicza wyposażona jest w zapalniki czasowe, które aktywują się jedynie podczas wystrzału, obecność amunicji średniego kalibru z zapalnikami uderzeniowymi może stanowić zagrożenie w określonych warunkach, szczególnie dla nurków i podczas prac podwodnych.

W dostępnych relacjach dotyczących zatopienia T/S Franken nie odnotowano jednoznacznych wybuchów amunicji ciężkiego kalibru (m.in. raport oficera mechanika i oficera zabezpieczenia dotyczący zatonięcia „Franken”, 8.04.1945; *KTB Z 43*, 5–8.04.1945), co potwierdza, że te pociski mogły zostać wcześniej przekazane innym jednostkom lub zużyte w walkach.

Szacuje się, że na początku kwietnia 1945 roku we wraku znajdowało się około 600 pocisków 150 mm i 1750 pocisków 127 mm, jednak raporty historyczne różnią się co do dokładnych liczb, co może wynikać z uzupełnień zapasów lub błędów w dokumentacji.

Należy podkreślić, że wszystkie szacunki dotyczące ilości amunicji (również paliwa) we wraku są obarczone istotną niepewnością wynikającą z fragmentarycznej dokumentacji i niepełnych badań terenowych. Część amunicji mogła zostać zniszczona w pożarze lub rozproszona wokół miejsca zatonięcia. Obecność niewybuchów, szczególnie pocisków średniego kalibru z zapalnikami

1.1.3 Incydenty zanieczyszczenia

Na mocy Konwencji Helsińskiej (art. 14, Załącznik VII, Rozporządzenie 7) Strony zgodziły się na opracowanie i stosowanie, indywidualnie lub we współpracy, działań nadzorczych obejmujących obszar Morza Bałtyckiego w celu wykrywania i monitorowania wycieków ropy naftowej i innych substancji do morza. Umawiające się Strony zobowiązały się również do podjęcia odpowiednich środków w celu prowadzenia nadzoru, między innymi z wykorzystaniem nadzoru powietrznego wyposażonego w systemy teledetekcji. Podręcznik Reagowania HELCOM, tom 6, określa procedury, sprzęt i sprawozdawczość związane z nadzorem powietrznym.

Rekomendacja HELCOM 34E/4 zaleca Umawiającym się Stronom podjęcie działań mających na celu objęcie całego obszaru Morza Bałtyckiego regularnym i skutecznym nadzorem powietrznym, rozwój i udoskonalenie istniejących systemów teledetekcji oraz koordynację działań nadzorczych prowadzonych poza wodami terytorialnymi. Celem regionalnego nadzoru lotniczego jest wykrywanie wycieków ropy naftowej i innych szkodliwych substancji, a tym samym zapobieganie naruszeniom obowiązujących przepisów dotyczących zapobiegania zanieczyszczeniom ze statków.

Grupa Robocza HELCOM ds. Nadzoru Lotniczego (EG Surveillance¹⁴) pracuje nad wdrażaniem współpracy i zobowiązań w zakresie nadzoru lotniczego. Sekretariat HELCOM corocznie gromadzi dane dotyczące incydentów zanieczyszczenia zaobserwowanych z powietrza w ramach krajowych i wspólnych, skoordynowanych działań nadzoru lotniczego.

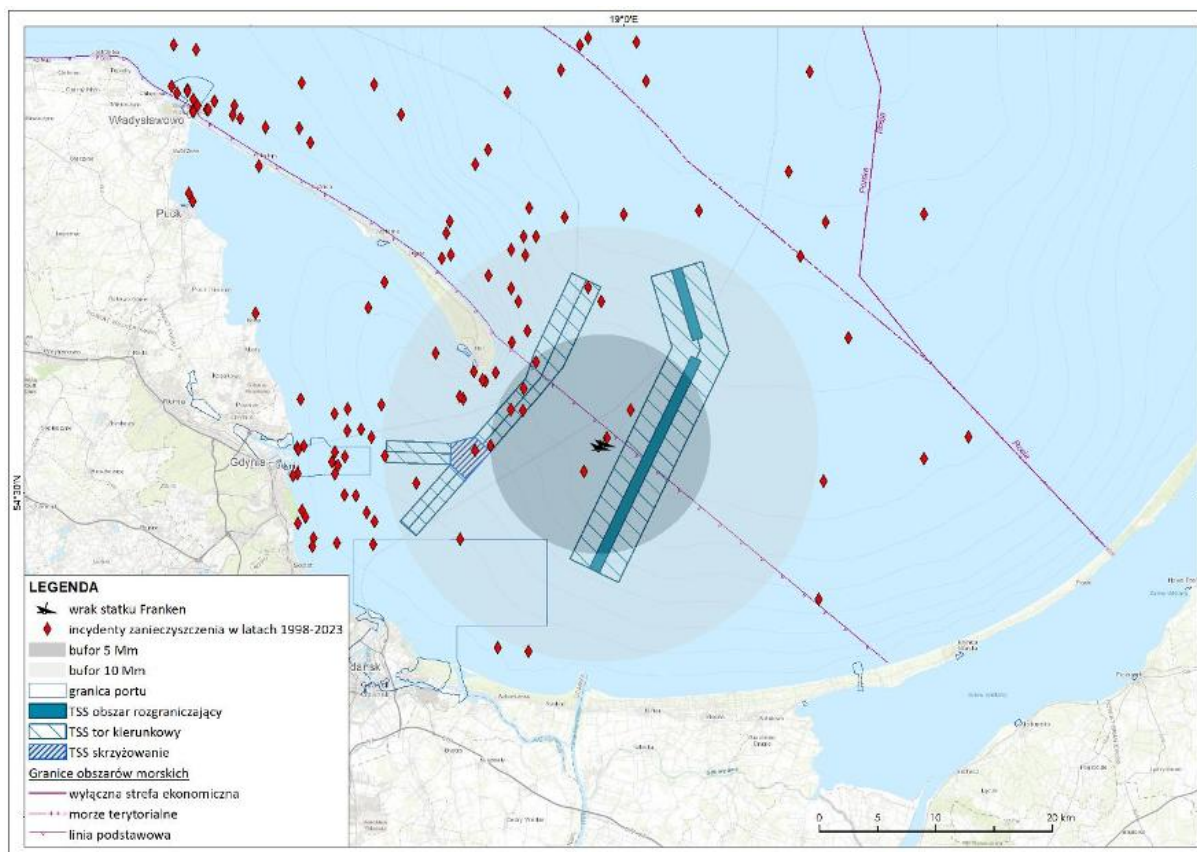
Dane dostępne są w serwisie <https://maps.helcom.fi/website/mapservice/index.html> i aktualnie obejmują lata 1998–2023. W tym czasie w polskich obszarach morskich zarejestrowano 440 przypadków zanieczyszczenia morza. Dane dla obszaru obejmującego bufor o promieniu 10 Mm od miejsca zalegania wraku T/S Franken przedstawiono w tabeli i na mapie (Tabela 6, Rysunek 6). Brak jest dowodów, że dla odnotowanych incydentów zanieczyszczeń źródłem był wrak T/S Franken.

Tabela 6. Incydenty zanieczyszczenia w buforze 10 Mm od lokalizacji zalegania wraku T/S Franken (źródło: HELCOM)

ID	Rok	Kierunek wiatru	Współrzędne geograficzne		Parametry zanieczyszczenia				
			szerokość	długość	długość [km]	szerokość [km]	powierzchnia [km ²]	typ	szacowana objętość [m ³]
957	2000	0	54,5306	18,6833	1,000	0,020	0,0000	olej	0,00120
965	2000	0	54,6856	18,8689	0,400	0,050	0,0000	olej	0,00200
1007	2000	0	54,6611	18,9528	0,500	0,300	0,0000	olej	0,01500
1080	2000	0	54,5353	18,8028	3,000	0,400	0,0000	olej	0,12000
1594	2001	0	54,6186	18,8513	1,000	1,000	0,0000	olej	0,00000
1911	2002	0	54,5666	18,85	1,000	0,000	0,0000	olej	0,00000
1919	2002	0	54,66	18,85	1,000	0,000	0,0000	olej	0,00000
1920	2002	0	54,61	18,75	3,000	0,000	0,0000	olej	0,00000
1921	2002	0	54,4666	18,7833	4,000	1,000	0,0000	olej	0,00000
1930	2002	0	54,67	18,82	1,000	0,000	0,0000	olej	0,00000

¹⁴ HELCOM Expert Group on Aerial Surveillance

ID	Rok	Kierunek wiatru	Współrzędne geograficzne		Parametry zanieczyszczenia				
			szerokość	długość	długość [km]	szerokość [km]	powierzchnia [km ²]	typ	szacowana objętość [m ³]
2047	2002	0	54,5666	19,009	5,000	3,000	0,0000	olej	2,00000
2212	2003	0	54,65	18,97	1,000	0,500	0,0000	olej	0,04000
2436	2004	0	54,583	18,867	0,000	0,000	0,0000	olej	0,00900
2443	2004	0	54,566	18,866	0,000	0,000	0,0000	olej	0,01000
3062	2007	0	54,65	18,86	0,000	0,000	0,0000	olej	0,00012
3602	2009	0	54,5098	18,7248	0,150	0,000	0,0225	olej	0,01350
3781	2010	0	54,545	18,9776	0,050	0,000	0,0025	olej	0,00500
3787	2010	190	54,5958	18,8008	0,010	0,000	0,0001	olej	0,00400
4029	2012	200	54,5895	18,8123	0,050	0,000	0,0005	olej	0,00020
4524	2015	0	54,519	18,9472	0,300	0,015	0,0050	olej	0,00900
4527	2015	250	54,5767	18,7822	0,100	0,080	0,0080	olej	0,02400
4713	2016	250	54,6033	18,8833	0,000	0,000	0,0000	olej	0,02000
5155	2019	310	54,5883	18,8163	0,050	0,010	0,0005	olej	0,00200
5163	2019	0	54,5952	18,83	3,800	0,018	0,0680	olej	0,06500
5303	2020	120	54,5388	18,823	0,300	0,190	0,0300	niezn.	0,00000
5310	2020	330	54,6275	18,872	15,000	0,100	0,9000	olej	0,80000
5477	2021	250	54,5747	18,787	1,500	0,050	0,0750	niezn.	0,00000



Rysunek 6. Lokalizacja incydentów zanieczyszczenia w rejonie Zatoki Gdańskiej (źródło: opracowanie własne na bazie danych HELCOM)

1.2 Wpływ na środowisko

Wraki statków mogą stanowić źródło zanieczyszczenia środowiska morskiego na skutek uwolnienia paliwa – zarówno w formie nagłych wycieków (np. na skutek uszkodzenia zbiorników), jak i powolnych, kroplowych wypływów, które mogą trwać przez wiele lat, jak ma to miejsce w przypadku wraku T/S Franken w Zatoce Gdańskiej.

Dotychczasowe badania i analizy historyczne przeprowadzone m.in. przez Fundację MARE oraz Instytut Morski w Gdańsku (obecnie Instytut Morski Uniwersytetu Morskiego w Gdyni), wskazały jednoznacznie, że wrak T/S Franken stanowi potencjalne zagrożenie ekologiczne. Głównym problemem związanym z tym zagrożeniem jest potencjalne uwolnienie pozostałości we wraku produktów ropopochodnych, które może zanieczyścić zarówno powierzchnię morza jak i osady dennie.

Z punktu widzenia zagrożenia środowiskowego najistotniejsze jest nie tylko to, czy wyciek następuje nagle czy stopniowo, ale przede wszystkim rodzaj paliwa znajdującego się we wraku. Właściwości oleju w dużej mierze determinują jego zachowanie w środowisku morskim, trwałość na powierzchni, toksyczność oraz możliwość powstania trwałych zanieczyszczeń w osadach dennych lub na wybrzeżu.

Dobrym przykładem zachowania się olejów w wodzie morskiej jest opis rafinowanych produktów naftowych według klasyfikacji grupowej i Kodeksu Przepisów Federalnych USA (Tabela 7).

Tabela 7. *Produkty naftowe według klasyfikacji grupowej i Kodeksu Przepisów Federalnych USA (źródło: Oil in the Sea IV, 2022)*

Nr grupy	Nazwa	Właściwości
1.	Nietrwałe (w środowisku wodnym) oleje lekkie (np. benzyna, kondensat)	• brak pozostałości po odparowaniu, • wysokie stężenia toksycznych (rozpuszczalnych) związków, • lokalne, poważne oddziaływanie na toń wodną i zasoby strefy pływowej, • oczyszczanie może być niebezpieczne ze względu na wysoką łatwopalność i toksyczne zagrożenie dla powietrza
2.	Trwałe oleje lekkie (np. olej napędowy, olej opałowy nr 2, lekkie surowe ropy naftowej)	• umiarkowanie lotne; pozostałość (do jednej trzeciej ilości wycieku) po kilku dniach, • umiarkowane stężenia toksycznych (rozpuszczalnych) związków, • zanieczyszczają zasoby strefy pływowej, co może prowadzić do długotrwałego skażenia, • oczyszczanie może być bardzo skuteczne
3.	Oleje średnie (np. większość surowej ropy naftowej, paliwo IFO 180)	• około jedna trzecia wyparuje w ciągu 24 godzin, • zanieczyszczenie olejem obszarów międzypływowych może być poważne i długotrwałe, • wpływ oleju na ptactwo wodne i ssaki futerkowe może być poważny, • oczyszczanie jest najskuteczniejsze, jeśli zostanie przeprowadzone szybko
4.	Oleje ciężkie (np. ciężkie surowe ropy naftowe, paliwo nr 6, HFO, bunker C)	• niewielkie lub żadne parowanie lub rozpuszczanie, • możliwe silne zanieczyszczenie obszarów pływowych, • poważne oddziaływanie na ptactwo wodne i ssaki futerkowe (powlekanie i połykanie), • możliwe długotrwałe zanieczyszczenie osadów, • bardzo powolne starzenie się, • oczyszczanie linii brzegowej trudne w każdych warunkach
5.	Oleje tonące (np. oleje szlamowe, bitumeny)	• tonie w wodzie, • w przypadku rozlania na linii brzegowej zachowuje się podobnie do oleju z grupy 4, • w przypadku rozlania na wodzie olej zazwyczaj tonie na tyle szybko, że nie dochodzi do zanieczyszczenia linii brzegowej, • brak parowania lub rozpuszczania po zanurzeniu, • poważne oddziaływanie na zwierzęta żyjące w osadach dennych, takie jak małże, • możliwe długotrwałe zanieczyszczenie osadów, • można je usunąć z dna zbiornika wodnego pogłębiarką

Na podstawie dostępnych informacji nie można jednoznacznie określić rodzaju przewożonych przez T/S Franken paliw w sposób umożliwiający ocenę ich zachowania się w środowisku morskim. Dotyczy to w szczególności paliw stanowiących ładunek okrętu.

Zakładając, że paliwo lotnicze znajdujące się w zbiorniku na pokładzie uległo całkowitemu zniszczeniu, z pewnym prawdopodobieństwem możemy uznać, że pozostałe paliwa mogą należeć do grup 2., 3., 4. i 5., przy czym paliwo z grupy 2. i 3. odpowiadające różnego rodzaju olejom napędowym i grzewczym traktować należy jako lekkie, natomiast grupę 4. i 5. stanowić będą oleje ciężkie. Należy zwrócić uwagę, że klasyfikacja amerykańska odnosi się do gęstości wody oceanicznej (1020–1030 kg/m³), co może oznaczać, że w warunkach Morza Bałtyckiego część paliw będzie tonąć.

W tabelach (Tabela 8, Tabela 9) przedstawiono podstawowe parametry paliw. Źródłem danych jest baza olejów ADIOS WEB-GNOME (<https://adios.orr.noaa.gov/oils>).

Tabela 8. Parametry podstawowe olejów lekkich (źródło: NOAA)

Nazwa	Grupa	Temperatura płynięcia [°C]	Lepkość [cP]		Gęstość [kg/m³]		Skład (SARA ¹⁵) [%]			
			0°C	15°C	0°C	15°C	nasycone	aromatyczne	żywice	asfalteny
Rotterdam Diesel	3	-27		12		885				0,02
FUEL OIL NO.2 (HO/DIESEL), EXXON	3	-32				870				
Marine Gas Oil (Heavy)	3	-4				865		41		
DIESEL/HEATING OIL NO.2, CHEVRON	3	-15				857				
Generic Diesel	3	-24	15,4	7,5	858	855	73	26	2	0,011
DF2 WINTER (DIESEL), TESORO	3	-26				854				
MARINE GAS OIL	3	-11				853		38		
DIESEL FUEL OIL NO.2, TESORO	3	-3				852	52,3	36		
FUEL OIL NO.2 (DIESEL), STAR ENT.	3	-15				852				
MARINE DIESEL OIL, ESSO	2	-36		7		849				0,03
MARINE DIESEL FUEL OIL	2	-30		4		842		43		
DIESEL	2	-18	3	4	838	840				
Diesel Fuel Oil (South U.S., 1994)	2	-7	7	3	850	839	76	22	2	0
Diesel Fuel Oil (South U.S., 1997)	2	-14	7	4	847	836	76	23	1	0
Marine Diesel-Ile Saint Ours	2	-18	6	4	847	836				
AUTOMOTIVE DIESEL OIL, ESSO	2	-36		5		834				0,03
Marine Diesel-Corporal Teather	2	-33	5	3	845	834				
Marine Diesel [2018]	2	-6	10	6	842	832	88	11	2	0
Diesel [2002]	2	-50	4	3	842	831	88	10	2	0
DIESEL FUEL OIL (ALASKA)	2	-36	4	2	841	830	74	24	1	
FUEL OIL NO.1 (DIESEL/HEATING FUEL)	2	-51				829				
DIESEL FUEL OIL (CANADA)	2	-30	4	2	838	825				

¹⁵ SARA- saturates, aromatics, resins, asphaltenes

Nazwa	Grupa	Temperatura płynięcia [°C]	Lepkość [cP]		Gęstość [kg/m ³]		Skład (SARA ¹⁵) [%]			
			0°C	15°C	0°C	15°C	nasycone	aromatyczne	żywice	asfalteny
Marine Diesel-Hurst Marina	2	-27	4	3	830	819				
FUEL OIL NO.1 (KEROSENE)	1				839	810		15		
DIESEL/HEATING OIL NO.2, CHEVRON	3	-15				857				
FUEL OIL NO.2 (AROMATIC HEATING)	3	-29				856	57	42		
HOME HEATING OIL	3	-29				856				

Tabela 9. Parametry podstawowe olejów ciężkich (źródło: NOAA)

Nazwa	Grupa	Temperatura płynięcia [°C]	Lepkość [cP]		Gęstość [kg/m ³]		Skład (SARA) [%]			
			0°C	15°C	0°C	15°C	nasycone	aromatyczne	żywice	asfalteny
High Viscosity Fuel Oil	5	-24	280 000	16 900	996	985	34	42	12	12
Cold Lake Bitumen	5	15	660 000	48 000	995	983	43	33	15	9
BUNKER C, JEA	4	15	1 040 000	45 000	994	983	24	55	15	6
Bunker C MV Manolis 2015	4	15	1 400 000	48 000	986	974	24	55	15	6
BUNKER C FUEL OIL (IRVING WH.)	4	-2	79 100	8706	995	989	25	47	17	11
Bunker C MV Manolis 2015	4	-2	79 100	8706	995	989	25	47	17	11
Bunker C MV Manolis	4	6	798 000	40 300	999	996	32	32	17	19
Bunker C Fuel Oil (Alaska)	4	-9	68 000	6100	1006	995	34	43	10	13
BUNKER C FUEL OIL (ALASKA)	4		53 000	5680	1006	996	35	38	12	15
IFO 380	5					996				
HFO 6303 [2002]	4		53 000	6000	1007	996				
BUNK FUEL OIL (IRVING WH.)	4	6	798 000	403 000	999	988	32	32	17	19
Bunker C Zalinski	4	-15	53 000	6800	998	988	35	41	12	11
Bunker C - IFO-300 [1994]	4	38				998				
BUNKER C FUEL OIL	4	-1	240 000	22 800	1002	989	42	29	16	13
Bunker C [1987]	4	2	104 100	13 460	1024	1014	18	43	13	26

Nazwa	Grupa	Temperatura płynięcia [°C]	Lepkość [cP]		Gęstość [kg/m ³]		Skład (SARA) [%]			
			0°C	15°C	0°C	15°C	nasycone	aromatyczne	żywice	asfalteny
BUNKER C FUEL OIL	4	9		235 000	1080	1000				13

1.2.1 Zachowanie się oleju w wodzie morskiej

Na zachowanie się olejów w wodzie morskiej wpływ mają różnego rodzaju czynniki. Ropa naftowa i produkty rafinowane w środowisku morskim podlegają procesom fizycznym, chemicznym i biologicznym, które zmieniają ich skład i wpływ na środowisko. Ponadto, wraz z upływem czasu następuje wietrzenie (starzenie się) oleju, obejmujące: parowanie lub ulatnianie, emulsyfikację, rozpuszczanie i utlenianie (chemiczne, foto- i mikrobiologiczne).

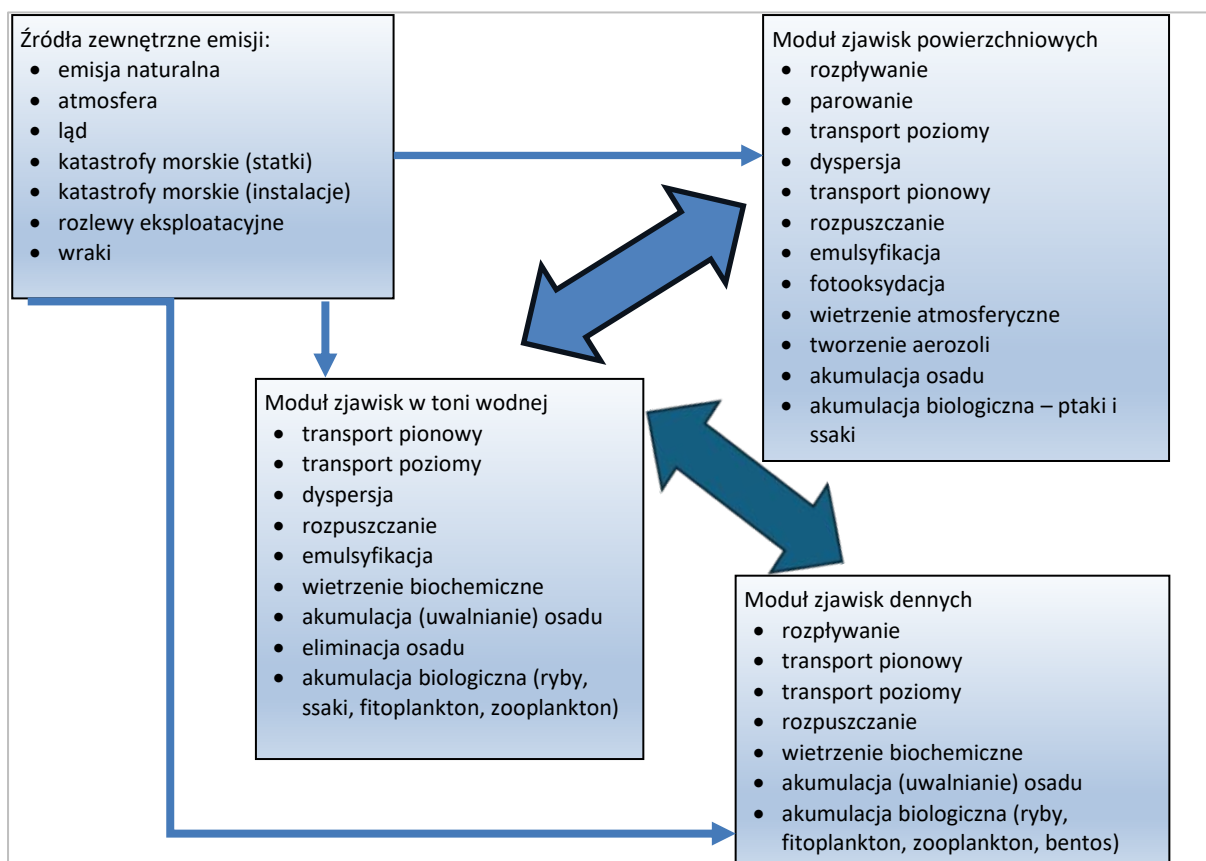
Poziomy transport lub przemieszczanie ropy naftowej odbywa się poprzez rozprzestrzenianie, adwekcję, dyspersję i porywanie, podczas gdy pionowy transport ropy obejmuje dyspersję, porywanie, cyrkulację Langmuira, tonięcie, wypłukiwanie, podział i sedymentację. Trwałe oleje często tworzą pozostałości smołowe lub kulki smołowe, które osadzają się na linii brzegowej.

Ostateczna postać ropy naftowej i produktów ropopochodnych w środowisku zależy od ich składu, źródła i trwałości. Przesiąki, wycieki do wód powierzchniowych, uwolnienia do wód głębinowych oraz rozproszone (niepunktowe) źródła zachowują się w różny sposób.

Zagrożenia ekologiczne i dla zdrowia ludzkiego zazwyczaj zależą od wielkości i czasu trwania ekspozycji, a wskaźniki ładunków masowych dla wszystkich źródeł węglowodorów muszą zostać przeliczone na stężenia w morzu, które są zmienne w czasie i przestrzeni. Jednakowe ładunki masowe dla różnych części oceanu mogą mieć zasadniczo różne konsekwencje.

Zachowanie się oleju w morzu wiąże się ze złożonymi interakcjami faz gazowej i ciekłej oleju, wody morskiej, cząstek unoszących się na wodzie, osadów i atmosfery poprzez procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne, a także mieszanie poziome i pionowe. Procesy te są dynamiczne, a ich względne znaczenie zmienia się w czasie w zależności od rodzaju rozlewu, miejsca wycieku i warunków środowiskowych. Ponadto, ponieważ procesy te zmieniają skład chemiczny płynów ropopochodnych, zmieniają się również właściwości tych płynów (np. gęstość, lepkość, napięcie międzyfazowe), co z kolei wpływa na procesy związane z ich zachowaniem się.

Na rysunku (Rysunek 7) przedstawiono model koncepcyjny zachowania się olejów w wodzie morskiej.



Rysunek 7. Model koncepcyjny dotyczący zachowania się oleju w środowisku morskim (źródło: opracowanie własne)

Pełne zrozumienie wpływu przedostania się ładunków oleju do wody morskiej wymaga dokładnej oceny wielkości, zasięgu przestrzennego i czasu ekspozycji. Ze względu na ogromną różnorodność środowisk fizycznych w morzu, nie jest możliwe wyprowadzenie prostych, ogólnych zależności między ładunkami masowymi ropy naftowej a stężeniami w środowisku, które można by zastosować uniwersalnie.

„Zachowanie się” (gdzie i w jaki sposób trafia), jak i „trwałość” (jak długo pozostaje w środowisku) oleju w wodzie morskiej są kontrolowane przez procesy, które znacznie różnią się w przestrzeni i czasie. Procesy kontrolujące transport (ruch) oleju w wodach powierzchniowych są dość dobrze poznane, jak również istnieją modele koncepcyjne pozwalające na budowanie modeli deterministycznych dla określonych ładunków na określonym obszarze przez okresy krótsze niż tydzień.

Istotne jest, w jaki sposób zawiązywane są wzajemne relacje między procesami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi, którym podlega olej po wprowadzeniu do środowiska morskiego, następnie wietrzeniu i transporcie ze źródła. Procesy związane z wietrzeniem ropy naftowej obejmują parowanie, emulsyfikację i rozpuszczanie, podczas gdy procesy chemiczne koncentrują się na utlenianiu, a w szczególności fotooksydacji.

Głównym procesem biologicznym wpływającym na ropę naftową w środowisku morskim jest utlenianie mikrobiologiczne. W miarę starzenia się oleju może on również podlegać różnym procesom transportu, w tym adwekcji i rozprzestrzenianiu, dyspersji i porywaniu, opadaniu i sedymentacji,

partycjonowaniu i biodostępności oraz osadzaniu się na mieliźnie, co w niektórych przypadkach prowadzi do tworzenia się masy smolistej.

W tabeli (Tabela 10) wskazano główne procesy, zawarto krótką definicję i wymieniono warunki sprzyjające zwiększeniu roli danego procesu w zachowaniu się oleju.

Tabela 10. Zestawienie procesów wpływających na zachowanie się oleju w morzu (źródło: Oil in the Sea IV, 2022)

Proces	Definicja	Warunki sprzyjające
Rozprzestrzenianie się na powierzchni	Ruch oleju na powierzchni morza, który tworzy cienkie, pływające formy plam i potysków	Oleje o niskiej lepkości rozprzestrzeniają się szybciej niż te o wysokiej lepkości
Tworzenie kropeł	Rozpad niemieszanego się oleju na kropelki zawieszone w kolumnie wody	Turbulencja, ścinanie, niskie napięcie międzyfazowe, mieszanie oleju z wodą
Mieszanie, dyspersja i rozcieńczanie	Zmiany stężeń rozlanych węglowodorów poprzez włączenie tych związków w różnych objętościach wody morskiej	Stężenia maleją, gdy węglowodory mieszają się z większymi objętościami wody morskiej, co jest spowodowane turbulencjami i prądami. Stężenia rosną, gdy krople ropy gromadzą się na powierzchni morza, co jest spowodowane podnoszeniem się kropli i interakcją graniczną z powierzchnią morza
Parowanie	Przenoszenie lżejszych lub bardziej lotnych substancji z plamy oleju do powietrza poprzez parowanie	• Duża powierzchnia wystawiona na działanie powietrza • Wysoki udział lotnych (lub lżejszych) związków • Wysokie temperatury • Działanie wiatru i fal (turbulencja)
Aerolizacja	Przenoszenie ciekłego oleju z powierzchni morza do atmosfery poprzez formowanie cząstek	• Fale i biała czapa (piana morska) • Wiatr
Redepozycja atmosferyczna	Przenoszenie chemikaliów i cząstek oleju z atmosfery na powierzchnię morza	Deszcz i śnieg
Fotooksydacja	Reakcje chemiczne zachodzące w ciekłym i zwietrzałym oleju w wyniku działania światła słonecznego w obecności tlenu	• Olej na powierzchni morza, w strefie fotonicznej oraz na brzegu • Światło słoneczne • Powstawanie wolnych rodników, które z kolei reagują z tlenem, tworząc reaktywne formy tlenu
Rozpuszczanie	Przenoszenie rozpuszczalnych w wodzie związków z oleju do otaczającej wody	• Wysoki udział związków rozpuszczalnych w wodzie • Turbulencja • Duża powierzchnia międzyfazowa między olejem a wodą
Emulsyfikacja	Tworzenie mieszaniny składającej się z małych kropelek oleju i wody	• Ropa naftowa na powierzchni morza • Działanie wiatru i fal (turbulencja) • Stosowanie dyspergentów
Biodegradacja	Metabolizm i rozkład związków organicznych przez mikroorganizmy, np. bakterie	• Obecność składników odżywczych, takich jak azot i fosfor • Obecność szerokiej gamy mikroorganizmów
Sorpcja do cząstek mineralnych	Przyczepianie hydrofobowych związków organicznych do powierzchni mineralnych poprzez oddziaływania fizykochemiczne	• Wysoka hydrofobowość • Wysoka zawartość minerałów • Mały rozmiar cząstek (dla zwiększenia dostępności powierzchni) • Niski współczynnik Kow¹⁶

¹⁶ Współczynnik podziału oktanol-woda – stosunek stężenia substancji chemicznej w n-oktanolu do jej stężenia w wodzie w stanie równowagi, który jest używany jako miara lipofilowości (rozpuszczalności w tłuszczach) danej substancji.

Proces	Definicja	Warunki sprzyjające
Sorpcja do tworzyw sztucznych	Przyczepianie hydrofobowych związków organicznych do powierzchni mineralnych poprzez oddziaływania fizykochemiczne	- Wysoka hydrofobowość - Obecność tworzyw sztucznych - Duża powierzchnia przylegania - Niski współczynnik Kow
Głębiny rozpad kropli	Tworzenie niemieszających się kropli poprzez rozbijanie większych fragmentów oleju na mniejsze cząsteczki płynu	- Turbulencja - Mieszanie z wodą - Niższe napięcie międzyfazowe i lepkość płynu naftowego
Zanurzenie	Osiadanie fragmentów oleju, gdy stają się one cięższe od wody	- Utrata lżejszych związków przez ulatnianie się i/lub rozpuszczanie - Przylączenie cząstek zawierających minerały
Zatopienie	Osiadanie oleju w wyniku adhezji do cząstek osadu lub materii organicznej	- Płytkie wody z dużą ilością zawieszonych ciał stałych - Ropa naftowa uwieczona na piaszczystych brzegach, zmieszana z piaskiem i innymi osadami

1.2.2 Zachowanie się rozlewów podpowierzchniowych

Skutki uwolnienie oleju do środowiska morskiego nie zawsze są widoczne na powierzchni wody. Przykładami są naturalne wycieki, erupcje podczas wiercenia odwiertów czy wycieki z rurociągów i wraków statków. Rozlewy podpowierzchniowe różnią się od powierzchniowych, przede wszystkim tym, że olej może przemieszczać się na znaczne odległości pod powierzchnią, zanim ostatecznie wypłynie na powierzchnię. Jest to szczególnie widoczne w głębszych akwenach, gdzie występują silne prądy. Takie zachowanie utrudnia śledzenie, ale co ważniejsze, potencjalnie zapewnia czas na rozpuszczenie bardziej rozpuszczalnych frakcji. Rozpuszczanie jest nasilone dzięki mieszaniu, wyższemu ciśnieniu i innym czynnikom.

Potencjalny rozlew z wraku T/S Franken zaliczany byłby do grupy emisji z wód płytkich, które podlegają określonym zasadom fizyki.

1.2.3 Scenariusze rozlewu T/S Franken

Scenariusze rozlewu (Tabela 11) z wraku obejmują emisję olejów lekkich, ciężkich i paliw resztkowych w następstwie mikroprzecieków oraz incydentalnych wycieków na skutek uszkodzenia konstrukcji zbiorników z następujących źródeł:

- zbiorniki własne okrętu;
- zbiorniki ładunkowe okrętu;
- otwarte częściowo przestrzenie wraku, do których wystąpił wyciek paliwa ze zbiornika.

Wycieki paliw mogą obejmować niezdegradowane i zdegradowane oleje oraz mieszaniny tych olejów z wodą i innymi zanieczyszczeniami.

Tabela 11. Scenariusze rozlewu z wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne na podstawie Oil in the Sea IV, 2022)

Proces	Paliwa lekkie	Paliwa ciężkie
Tworzenie kropli	Transport na powierzchnię wody ze wszystkimi procesami towarzyszącymi	Transport na powierzchnię, zanurzenie lub zatopienie w zależności od typu oleju i stopnia degradacji

Proces	Paliwa lekkie	Paliwa ciężkie
Mieszanie, dyspersja i rozcieńczanie	Silna dyspersja dla niezdegradowanego paliwa, zdegradowane paliwo lekkie może się zachowywać jak paliwo ciężkie	Słabe mieszanie i dyspersja
Rozpuszczanie	Bardzo słabe	Bardzo słabe
Emulsyfikacja	Brak	Możliwa pod warunkiem, że olej przedostanie się na powierzchnię wody
Biodegradacja	Bardzo efektywna w środowisku tlenowym, słaba w przypadku braku obecności tlenu (np. zamknięty zbiornik)	Słaba w środowisku tlenowym, brak w przypadku braku obecności tlenu (np. zamknięty zbiornik)
Sorpcja do cząstek mineralnych	Słaba sorpcja niezależnie od stanu degradacji	Silna sorpcja niezależnie od stanu degradacji
Zanurzenie	Możliwa w zależności od efektów degradacji i parametrów zawiesiny	Możliwa w zależności od efektów degradacji i parametrów zawiesiny
Zatopienie	Biodegradacja i dyspersja mogą powodować, że olej będzie cięższy od wody Wtórne zatopienie na skutek parowania powierzchniowego i dyspersji	Paliwo lżejsze od wody może zatonać na skutek: • degradacji – biodegradacja lżejszych frakcji • adhezji do cząstek mineralnych lub materii organicznej

1.2.4 Skutki obecności oleju w morzu

Różnorodność zanieczyszczeń ropą naftową w środowisku morskim stanowi wyzwanie w zakresie przewidywania, reagowania, zrozumienia, a nawet opisywania ich potencjalnych skutków biologicznych i środowiskowych. Choć istnieje wiele sposobów, w jakie ropa może przedostać się do morza, wycieki oleju do środowiska morskiego przyciągnęły szczególną uwagę i zainteresowanie opinii publicznej, częściowo ze względu na zdjęcia pokrytych ropą zwierząt, takich jak ptaki morskie, żółwie morskie i ssaki morskie. Olej może szkodzić organizmom, populacjom lub społecznościom bezpośrednio poprzez negatywne skutki, które upośledzają przetrwanie lub rozmnażanie, oraz pośrednio poprzez kaskadowe konsekwencje skutków bezpośrednich lub poprzez zaburzenia zależności między różnymi gatunkami, populacjami lub strukturami troficznymi. Skutki ostrej, krótkotrwałej ekspozycji mogą być ograniczone, co prowadzi do subletalnych reakcji, które mogą prowadzić do śmiertelności, lub mogą obejmować długoterminowe lub opóźnione reakcje jednostek, populacji, społeczności i ekosystemów. Uwolnienia ropy do morza, podczas których mniejsze ilości są uwalniane przez dłuższy czas (np. przez naturalne wycieki lub nieszczelną infrastrukturę), mogą również powodować negatywne skutki dla narażonych organizmów.

Najważniejsze informacje dotyczące potencjalnych skutków zostały przedstawione na rysunku (Rysunek 8).

Czynniki stresogenne			
Indywidualne	Populacja	Społeczność	Ekosystem
Śmiertelność	Zmniejszona liczebność populacji	Zmieniony skład	Długotrwała zmiana struktury, funkcji, zdrowia i usług ekosystemu
Stres fizjologiczny	Zredukowana zdobycz	Zmieniona lub zakłócona sieć pokarmowa	
Uszkodzenie komórek	Zmniejszona powierzchnia odpowiedniego siedliska lub jakość siedliska	Efekty kaskadowe	
Obniżona sprawność fizyczna	Zwiększone drapieżnictwo na dotkniętych osobnikach	Utrata struktury biogennej	
Deprywacja sensoryczna	Ucieczka, opuszczenie obszaru	Dostępne nowe siedlisko dla populacji	
Zmienione zachowanie	Niższy sukces reprodukcyjny		
Zmieniony skład genetyczny			
Działanie teratogenne			
Zmniejszona liczba ofiar / żerowanie			
Zwiększone drapieżnictwo na dotkniętych organizmach			
Obniżony sukces reprodukcyjny			

Rysunek 8. Potencjalne negatywne skutki narażenia na wyciek ropy naftowej w różnych poziomach organizacji ekosystemu w kontekście wielu czynników stresogennych (źródło: Oil in the SEA iV)

Przewlekła ekspozycja na olej może również wystąpić po wycieku w określonych siedliskach i miejscach, takich jak skażone osady plażowe lub denne. Znaczenie długoterminowych skutków ostrych i/lub przewlekłych emisji oleju do morza zostało uznane i stanowi istotny przedmiot zainteresowania. W ostatnich latach technologie i narzędzia molekularne („omika”) znacznie się rozwinęły i są coraz częściej wykorzystywane do badania obecności, losów i skutków zanieczyszczeń środowiska, w tym ropy naftowej i jej składników. Podejścia omiczne (tj. genomika [DNA], transkryptomika [RNA], proteomika [białka], lipidomika i metabolomika) w połączeniu z innymi dyscyplinami zostały wykorzystane do zapewnienia podejścia systemowego do monitorowania i oceny stanu zdrowia i funkcjonowania ekosystemów.

Oleje mogą być produktami rafinacji czystych lub ograniczonych rodzajów ropy naftowej, a nawet bardziej skomplikowanymi mieszaninami, takimi jak sama ropa naftowa. Skutki narażenia na te związki wynikają z interakcji między różnymi związkami chemicznymi w uwolnionych olejach, wraz ze złożonością ekosystemu, w którym doszło do dostania się ropy lub jej chronicznego uwalniania. Toksyczność, rozumiana jako szkodliwa właściwość, może wynikać z efektów fizycznych, takich jak powlekanie lub tłumienie, lub efektów chemicznych obejmujących dowolny z wielu różnych mechanizmów toksyczności. Wpływ oleju na organizmy jest bardzo zróżnicowany, w zależności od początkowego składu oraz jego późniejszego stanu i sposobu narażenia, warunków środowiskowych w momencie narażenia, gatunku i etapu życia narażonych organizmów i ich siedliska, mechanizmów

toksyczności oraz stężenia i czasu narażenia, częściowo ze względu na niejednorodność dystrybucji ropy naftowej. Odpowiedni mechanizm toksyczności zależy w dużym stopniu od etapu życia narażonych gatunków, warunków środowiskowych ich siedliska oraz sposobów narażenia.

Na przykład plamy ropy stanowią poważne zagrożenie dla dorosłych ptaków morskich (stadium życia i gatunek), gdy wchodzi w kontakt (sposób narażenia) z unoszącą się plamą ropy (siedlisko i skład ropy), poprzez upośledzenie ich pływalności, termoregulacji i mobilności (mechanizm toksyczny), co zwiększa ryzyko śmierci głodowej lub spożycia przez drapieżniki. Jeśli jednak ropa jest silnie zwiędnięta, zagrożenie to ulega znacznemu osłabieniu. Z kolei zagrożenie, jakie stwarza fizyczny kontakt z ropą dla ruchliwości ryb bezpośrednio pod unoszącą się plamą ropy, jest znikome, chociaż tym samym rybom zagrażają inne sposoby narażenia, a zagrożenia stwarzane przez różne składniki ropy działające poprzez inne mechanizmy toksyczności mogą być poważniejsze, szczególnie dla wczesnych stadiów życia ryb.

W rezultacie wpływ ropy na organizmy jest zarówno skomplikowany, jak i złożony. Jest on skomplikowany ze względu na złożone interakcje między licznymi ważnymi czynnikami, które decydują o tym, jakie skutki wystąpią i jak poważne mogą być te skutki, a także złożone, ponieważ często te interakcje są nieliniowe lub zależą od skali przestrzenno-czasowej zdarzenia narażenia, lub od obu tych czynników. Te zawiłości poważnie ograniczają stosowalność większości uogólnień dotyczących wpływu ropy na organizmy i ekosystemy morskie.

Obserwacje skutków wycieku oleju dostarczają wiarygodnych wskazówek dotyczących szkód dla organizmów i środowiska, ale ustalenie związków przyczynowo-skutkowych z ekspozycją na nie jest trudne. Każde z podejść do wykrywania skutków ekspozycji na olej jest lepiej dostosowane do niektórych organizmów niż innych. Ogólnie, najlepsza kombinacja danych do określania skutków wycieku opiera się na badaniu składu i toksyczności oleju oraz reakcji organizmów lub siedlisk (Tabela 12).

Tabela 12. Przegląd względnych skutków ogólnego zrzutu oleju na organizmy, w zależności od mechanizmu narażenia: kontaktu fizycznego, połknięcia, wdychania i wchłaniania (źródło: Oil in the SEA IV)

Receptor	Recepcja	Skutek oddziaływania
Ptaki	Kontakt fizyczny	Ograniczona ruchomość/wyporność, upośledzona termoregulacja, podrażnienie skóry
	Przyjmowanie pokarmu	Uszkodzenie przewodu pokarmowego, hepatoksyczność, dysfunkcja nerek, upośledzenie układu odpornościowego, wady neurologiczne, zaburzenia układu sercowo-naczyniowego, zaburzenia hormonalne, zmiany hematologiczne
	Inhalacja	Zaburzenia oddychania
Ssaki o gęstym futrze	Kontakt fizyczny	Ograniczona ruchomość/wyporność, upośledzona termoregulacja, podrażnienie skóry
	Przyjmowanie pokarmu	Uszkodzenie przewodu pokarmowego, hepatoksyczność, dysfunkcja nerek, upośledzenie układu odpornościowego, wady neurologiczne, zaburzenia układu sercowo-naczyniowego, zaburzenia hormonalne, zmiany hematologiczne
	Inhalacja	Zaburzenia oddychania
Ryby	Przyjmowanie pokarmu	Uszkodzenie przewodu pokarmowego, hepatoksyczność, dysfunkcja nerek, upośledzenie układu odpornościowego, wady neurologiczne, zaburzenia układu sercowo-naczyniowego, zaburzenia hormonalne, zmiany hematologiczne, zahamowanie wzrostu
	Absorpcja	Ostra toksyczność, zaburzenia układu sercowo-naczyniowego, foto-wzmocniona toksyczność, wpływ na zachowanie
Człowiek	Kontakt fizyczny	Podrażnienie skóry

Receptor	Recepcja	Skutek oddziaływania
	Przyjmowanie pokarmu	Deficyty neurologiczne, zaburzenia układu sercowo-naczyniowego, zaburzenia hormonalne, skutki systemowe
	Inhalacja	Zaburzenia oddychania
Bezkęgowce	Kontakt fizyczny	Ograniczona ruchomość, uduszenie się
	Absorpcja	Ostra toksyczność, foto-wzmocniona toksyczność

1.2.5 Toksyczność paliw syntetycznych

W Norwegii przeprowadzono badania¹⁷ paliw we wrakach pochodzących z II wojny światowej. Celem było zbadanie potencjalnego wpływu na środowisko wycieków z wraków poprzez przygotowanie niskoenergetycznych frakcji olejów (WAF) z czterech wraków statków z II wojny światowej, aby scharakteryzować ich skład chemiczny i ostrą toksyczność.

Całkowite stężenie WAF w olejach z wraków statków było zróżnicowane, a najwyższe stężenia określono ilościowo w WAF wraków niemieckich. Te WAF były również najbardziej toksyczne zarówno dla glonów, jak i widłonogów. Wyniki tych badań wskazują, że oleje bardziej „syntetyczne” z niemieckich wraków statków z II wojny światowej mają wyższą toksyczność dla organizmów morskich niż oleje „mineralne” z badanych brytyjskich wraków statków.

Obszerne informacje dotyczące ww. badań znajdują się w załączniku Paliwa WAF.

¹⁷ Relative bioavailability and toxicity of fuel oils leaking from World War II shipwrecks, Guri Faksness, Per Daling, Dag Altin, Hilde Dolva, Bjørn Fosbæk, Rune Bergstrøm. Marine Pollution Bulletin, Volume 94, Issues 1–2, 15 May 2015, Pages 123-130

2 ASPEKTY PRAWNE I REGULACYJNE

Wrak T/S Franken zalega na wewnętrznych wodach morskich Rzeczypospolitej Polskiej, położonych między linią podstawową morza terytorialnego a lądem, zgodnie z art. 8 ust. 1 *Konwencji Narodów Zjednoczonych o prawie morza z 10 grudnia 1982 r.* (Dz.U. 2002 nr 59 poz. 543). Zgodnie z art. 2 ust. 2 i 3 ustawy z dnia 21 marca 1991 r. *o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej* (Dz.U. 1991 nr 32 poz. 131 z późn. zm.), wody wewnętrzne wchodzą w skład terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, a zwierzchnictwo terytorialne państwa rozciąga się zarówno na wody, jak i na dno morskie i wnętrze ziemi pod nimi.

Wody wewnętrzne objęte są jurysdykcją ustawodawczą, wykonawczą i sądową państwa polskiego w takim samym zakresie jak terytorium lądowe.

Reżim immunitetu statku państwowego

W kontekście wraku T/S Franken zasadnicze znaczenie ma ustalenie, że była to jednostka Kriegsmarine, a więc okręt używany wyłącznie do celów państwowych, w charakterze wojskowym. Status taki, wynikający z natury służby okrętu, nie ulega zmianie w wyniku jego zatonięcia. W doktrynie prawa morza zgodnie przyjmuje się, że okręty oraz inne statki państwowe wykorzystywane do celów niehandlowych zachowują swoją tożsamość prawną oraz wynikające z niej immunitety również po utracie zdolności żeglugowej. Jak wskazuje Piotrowski (2019), wrak okrętu, choć nie jest już okrętem *sensu stricto*, nadal pozostaje mieniem państwa bandery, a tym samym korzysta z immunitetu jurysdykcyjnego.

Reżim immunitetu państwowych jednostek pływających ma charakter pierwotny, zwyczajowy i opiera się na zasadzie suwerennej równości państw. Jego elementy były konsekwentnie potwierdzane w kolejnych aktach prawa morza — począwszy od konwencji brukselskiej z 1926 r. o immunitetach statków państwowych, przez konwencje genewskie z 1958 r., aż po *Konwencję Narodów Zjednoczonych o prawie morza z 1982 r.* (Dz.U. 2002 nr 59 poz. 543). UNCLOS nie ustanawia samodzielnie reżimu immunitetu, lecz w art. 32 oraz art. 236 wyraźnie podkreśla, że jej postanowienia nie naruszają immunitetów przysługujących państwu i jego mieniu, co oznacza, że co do zasady immunitet państwowy nie wygasa wraz z zatonięciem ani upływem czasu, niezależnie od miejsca zalegania wraku.

Znaczenie tej zasady zostało potwierdzone w orzecznictwie. Międzynarodowy Trybunał Prawa Morza w sprawie M/V Saiga (No. 2) (M/V SAIGA, 1999) wskazał, iż okręty korzystają z pełnego immunitetu w każdym miejscu na morzu. Międzynarodowy Trybunał Sprawiedliwości w wyroku z 2012 r. w sprawie *Jurisdictional Immunities of the State* podkreślił natomiast absolutny charakter immunitetu państwowych jednostek pływających, niezależnie od miejsca ich położenia.

Współczesna analiza doktrynalna dodatkowo potwierdza utrzymywanie immunitetu wraków państwowych. Jak wskazuje Oyama (2021), w prawie międzynarodowym istnieją dwie konkurencyjne koncepcje: pierwsza zakładająca utratę statusu „okrętu wojennego” po zatonięciu, oraz druga — obecnie dominująca — zgodnie z którą immunitet nie jest związany z funkcjonalną zdolnością statku, lecz z faktem, że jest on mieniem państwa. Zgodnie z tą drugą koncepcją wraki okrętów zachowują immunitet państwowy bez względu na upływ czasu oraz miejsce położenia, a utrata immunitetu

mogąby nastąpić wyłącznie poprzez wyraźne, formalne oświadczenie o porzuceniu przez państwo bandery. Prawo międzynarodowe nie przyjmuje konstrukcji domniemanego porzucenia wraku.

W świetle powyższego wrak T/S Franken — jako mienie Republiki Federalnej Niemiec — korzysta z immunitetu jurysdykcyjnego tego państwa, niezależnie od upływu 80 lat od zatonięcia oraz faktu, że spoczywa na polskich wodach wewnętrznych. Jednocześnie Polska jako państwo terytorialne, posiada pełnię kompetencji w zakresie zarządzania obszarem, w tym obowiązki i uprawnienia wynikające z ochrony środowiska. Immunitet nie wyłącza możliwości podejmowania przez państwo nadbrzeżne działań niezbędnych do ochrony środowiska morskiego, w szczególności w sytuacji stanu wyższej konieczności lub w zakresie działań nieingerencyjnych, przy czym działania ingerujące w konstrukcję wraku co do zasady wymagają zgody państwa bandery. W praktyce państw przyjmuje się zasadę uprzejmości międzynarodowej (*comity*), zgodnie z którą planowane działania ingerujące w konstrukcję wraku jednostki obcej bandery powinny być notyfikowane państwu bandery, zwłaszcza jeżeli mogą wpływać na jego integralność.

W przypadku wraku T/S Franken oznacza to konieczność uzyskania zgody właściwych organów Republiki Federalnej Niemiec na działania ingerujące w konstrukcję wraku, przy jednoczesnym zachowaniu możliwości podjęcia działań niezwłocznych w sytuacji stanu wyższej konieczności, o czym strona niemiecka powinna zostać poinformowana.

2.1 Prawo międzynarodowe

UNCLOS (1982)

Konwencja Narodów Zjednoczonych *o prawie morza*, podpisana 10 grudnia 1982 r. w Montego Bay, określa podstawowe zasady prawa morza, w tym definicje stref morskich oraz zakres suwerenności państwa nadbrzeżnego. Zgodnie z art. 8 UNCLOS, wody położone na lądowej stronie linii podstawowej stanowią wewnętrzne wody morskie i są traktowane jako część terytorium państwa. Wrak Franken znajduje się właśnie w tej strefie, co oznacza, że Polska wykonuje na tym obszarze pełnię kompetencji administracyjnych i prawnych. Konwencja nie reguluje wprost kwestii immunitetu wraków okrętów wojennych ani nie wpływa na możliwość podejmowania działań przez państwo w wodach wewnętrznych.

Konwencja londyńska z 1972 r. i Protokół z 1996 r.

Konwencja o zapobieganiu zanieczyszczaniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji sporządzona w Moskwie, Waszyngtonie, Londynie i Meksyku dnia 29 grudnia 1972 r. (Dz.U. 1984 nr 11 poz. 46), tzw. Konwencja londyńska wraz z Protokołem z 1996 r., tworzy globalny reżim regulujący dopuszczalność zrzutów do morza. System ten opiera się na zezwoleniach administracyjnych i generalnym zakazie zatapiania substancji, z wyjątkiem enumeratywnie wskazanych kategorii – m.in. urobku z prac czerpalnych – po przeprowadzeniu stosownej oceny ich wpływu na środowisko. W odniesieniu do Morza Bałtyckiego instrumenty te należy interpretować łącznie z Konwencją Helsińską z 1992 r. i rekomendacjami HELCOM, uwzględniając szczególną wrażliwość akwenu. Choć materiały zalegające na dnie morza (wraki statków zatopionych w wyniku działań wojennych oraz amunicja konwencjonalna i chemiczna) nie mieszczą się w klasycznej definicji „zrzutu”, to działania związane z ich podnoszeniem, przemieszczaniem lub neutralizacją mogą wymagać usuwania

zanieczyszczonych osadów lub urobku, co aktywuje obowiązek uzyskania zezwolenia w reżimie londyńskim.

Z perspektywy analizowanego projektu istotne jest, że wszelkie operacje mogące prowadzić do wtórnego zrzutu materiałów do Bałtyku podlegają systemowi zezwoleń oraz wymogowi oceny oddziaływania na środowisko (w tym badań toksykologicznych i ekotoksykologicznych). Działania w obszarach szczególnego ryzyka – takich jak wraki z ładunkami ropopochodnymi czy pozostałości amunicji – muszą dodatkowo pozostawać zgodne z Konwencją Helsińską oraz rekomendacjami HELCOM określającymi standardy bezpieczeństwa i monitoringu.

Konwencja UNESCO 2001

Konwencja *o ochronie podwodnego dziedzictwa kulturowego*, przyjęta 2 listopada 2001 r. przez Konferencję Generalną UNESCO i obowiązująca od 2009 r., ustanawia międzynarodowe zasady ochrony obiektów o charakterze archeologicznym, historycznym lub kulturowym znajdujących się pod wodą od co najmniej 100 lat. Jej stronami jest kilkadziesiąt państw, w tym część państw regionu Morza Bałtyckiego. Polska jest stroną Konwencji od 2021 roku (Dz.U. 2021 poz. 1302).

Konwencja definiuje podwodne dziedzictwo kulturowe szeroko, jako wszelkie ślady egzystencji ludzkiej mające charakter kulturowy, historyczny lub archeologiczny, które pozostawały lub pozostają całkowicie lub częściowo pod wodą, przez co najmniej 100 lat, obejmując m.in. wraki statków, ich części, ładunek lub inną zawartość (również w kontekście pozostałości działań wojennych), o ile spełniają kryterium wieku i mają uznaną wartość archeologiczną lub historyczną (art. 1).

Podstawowe zasady Konwencji obejmują:

- priorytet ochrony *in situ*, czyli zachowanie obiektów w miejscu zalegania,
- zakaz komercjalizacji dziedzictwa,
- obowiązek współpracy międzynarodowej w zakresie badań i ochrony,
- poszanowanie integralności obiektów, w tym ograniczenia działań mogących je uszkodzić.

W kontekście projektu „Rozpoznanie i ewentualna neutralizacja materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego”, Konwencja UNESCO stanowi uzupełniający punkt odniesienia dla ochrony obiektów historycznych, takich jak wraki zawierające materiały niebezpieczne. Wyznacza ramy, w których działania techniczne i bezpieczeństwa powinny być łączone z ochroną wartości kulturowych oraz zapewnia mechanizmy współpracy i wymiany informacji w przypadku prowadzenia badań archeologicznych.

Konwencja z Espoo (1991)

Konwencja *o ocenach oddziaływania na środowisko w kontekście transgranicznym*, sporządzona w Espoo dnia 25 lutego 1991 r. (Dz.U. 1999 nr 96 poz. 1110) ustanawia zasady oceny oddziaływania na środowisko w kontekście transgranicznym. Obowiązek uruchomienia procedury powstaje, gdy planowane przedsięwzięcie na terytorium jednego państwa może wywołać znaczące oddziaływanie środowiskowe w innym państwie. W praktyce Morza Bałtyckiego dotyczy to potencjalnie prac technicznych, które mogłyby wywołać skutki odczuwalne poza wodami RP.

Procedura Espoo obejmuje:

- notyfikację państwa mogącego zostać dotkniętym oddziaływaniem;
- ustalenie zakresu oceny (scoping) w konsultacji ze stroną narażoną;
- konsultacje transgraniczne, obejmujące także udział społeczeństwa;
- podjęcie decyzji przez państwo prowadzące postępowanie, z uwzględnieniem zgłoszonych uwag.

Konwencja nie ustanawia sztywnych terminów, ale wymaga zapewnienia „wczesnego i skutecznego” udziału państw narażonych na oddziaływanie oraz ich społeczeństw. W kontekście działań związanych z wrakami na wodach wewnętrznych RP procedura Espoo ma zastosowanie jedynie w sytuacjach, w których skutki potencjalnych działań mogłyby przekroczyć granice państwowe. Federacja Rosyjska nie jest stroną Konwencji z Espoo, w związku z czym transgraniczna procedura oceny oddziaływania na środowisko nie znajduje zastosowania w relacji Polska–Rosja.

Konwencja o usuwaniu wraków (Nairobi Wreck Removal Convention, 2007)

Konwencja o usuwaniu wraków z 2007 r. (*Nairobi Wreck Removal Convention* – NWRC) ustanawia międzynarodowe zasady identyfikacji, zgłaszania i usuwania wraków które mogą potencjalnie negatywnie wpłynąć na bezpieczeństwo życia, dóbr i mienia na morzu, a także na środowisko morskie. Konwencja ma domyślne zastosowanie do wyłącznej strefy ekonomicznej, przy czym państwo-strona może rozszerzyć jej stosowanie również na morze terytorialne. Polska nie jest stroną Konwencji.

Instrument ten nakłada na właściciela rejestrowego obowiązek usunięcia wraku uznanego za niebezpieczny oraz wymaga posiadania obowiązkowego ubezpieczenia pokrywającego koszty takich działań. W przypadku państw-stron mechanizm ten umożliwia dochodzenie kosztów usuwania wraków od armatorów. Brak ratyfikacji przez Polskę oznacza, że w polskiej WSE i MT nie obowiązują procedury i mechanizmy odpowiedzialności przewidziane w NWRC, a ewentualne działania obciążają państwo polskie na podstawie prawa krajowego.

Konwencja wyraźnie **nie ma zastosowania do statków państwowych i okrętów** używanych do celów niehandlowych (art. 4 NWRC). W związku z tym nie obejmuje wraku T/S Franken, który jest wrakiem wojennym i spoczywa ponadto na wodach wewnętrznych. NWRC nie reguluje również kwestii związanych z neutralizacją amunicji czy materiałów niebezpiecznych (UXO), koncentrując się wyłącznie na zarządzaniu wrakami jako obiektami nawigacyjnymi lub potencjalnie zanieczyszczającymi.

2.2 Uwarunkowania regionalne

Konwencja helsińska (HELCOM)

Konwencja o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego z 1992 r. (Konwencja Helsińska), ratyfikowana przez Polskę w 1999 r. (Dz.U. 1999 nr 62 poz. 687) której stronami są wszystkie państwa nadbałtyckie oraz Unia Europejska, stanowi podstawowy regionalny instrument prawny regulujący współpracę na rzecz ochrony środowiska Bałtyku. Konwencja ustanawia obowiązek podejmowania działań zapobiegawczych, ograniczających i kontrolnych wobec wszelkich źródeł zanieczyszczeń, a jej integralnym elementem są zasada ostrożności oraz wymóg stosowania najlepszych dostępnych technologii (BAT) i najlepszych praktyk środowiskowych (BEP).

Organem wykonawczym Konwencji jest Komisja Helsińska (HELCOM), która od 2013 r. rozwija regionalne ramy dotyczące zagrożeń wynikających z obecności obiektów niebezpiecznych na dnie morza, w tym wraków zawierających paliwa i inne substancje szkodliwe. HELCOM powołał *Expert Group on Environmental Risks of Submerged Objects* (EG Submerged), której mandat obejmuje opracowywanie i aktualizację narzędzi do oceny ryzyka oraz wytycznych dotyczących postępowania z wrakami i innymi obiektami zatopionymi. Grupa działa na podstawie decyzji HELCOM HOD 43-2013, a jej mandat został przedłużony do 2026 r.

HELCOM opracował zestaw standardów i zaleceń dotyczących oceny i zarządzania ryzykiem wraków (tzw. *HELCOM toolbox*), obejmujący m.in. metody oceny ryzyka, klasyfikację zagrożeń, rekomendowane techniki badań *in situ* oraz zasady prowadzenia operacji odzysku paliw lub innych substancji niebezpiecznych. Narzędzia te są aktualizowane na podstawie prac EG Submerged oraz projektów regionalnych (np. DAIMON, North Sea Wrecks¹⁸), które HELCOM uznaje za element implementacji obowiązków Konwencji Helsińskiej w zakresie BAT/BEP i zasady ostrożności (HELCOM 2025).

Obszar zalegania wraku T/S Franken został uznany za lokalny „hot spot”, wymagający szczególnej uwagi ze względu na realne ryzyko wycieku (tamże).

W tym kontekście działania prowadzone w ramach projektu „Rozpoznanie i ewentualna neutralizacja materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego” odpowiadają bezpośrednio obowiązkom Konwencji Helsińskiej dotyczącym zapobiegania zanieczyszczeniom oraz współpracy regionalnej. System HELCOM zapewnia państwom-stronom ramy prawne i instytucjonalne do wymiany danych, prowadzenia wspólnych ocen ryzyka oraz przygotowywania i realizacji działań zaradczych, w tym operacji neutralizacji zagrożeń.

2.3 Prawo krajowe

Zgodnie z ustawą z dnia 21 marca 1991 r. *o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej* (Dz.U. 1991 nr 32 poz. 131 z późn. zm.), pojęcie *zatopionych materiałów niebezpiecznych* obejmuje trzy główne grupy obiektów i substancji (art. 32b). W pierwszej kolejności są to różne kategorie amunicji, broni oraz materiałów wybuchowych zdefiniowane w ustawie o działalności gospodarczej w zakresie materiałów wybuchowych, broni i amunicji (odpowiednio art. 3 ust. 1 pkt 1, 2 i 9 tej ustawy). Drugą kategorię stanowi broń chemiczna w rozumieniu przepisów implementujących Konwencję o zakazie broni chemicznej. Trzecia grupa obejmuje wraki opisane w art. 35a ust. 1a ustawy o obszarach morskich – pod warunkiem, że na nich lub w ich bezpośrednim otoczeniu znajdują się pozostałości paliwa, substancje ropopochodne bądź materiały wymienione w dwóch poprzednich punktach.

Wszelkie przypadki wykrycia lub podejrzenia obecności takich obiektów są formalnie zgłaszane do Biura Hydrograficznego Marynarki Wojennej (BHMW), co wynika z art. 32c w powiązaniu z art. 41c ust. 1. BHMW przekazuje następnie informacje właściwemu terytorialnie dyrektorowi urzędu morskiego oraz Dyrektorowi Morskiej Służby Poszukiwania i Ratownictwa, zapewniając szybki przepływ danych i gotowość do reakcji.

¹⁸ Projekt North Sea Wrecks, finansowany w ramach INTERREG North Sea Region

Prowadzenie jakichkolwiek działań zmierzających do neutralizacji zatopionego materiału niebezpiecznego wymaga uzyskania zezwolenia dyrektora odpowiedniego urzędu morskiego (art. 32d ust. 1). Decyzja taka jest podejmowana na wniosek zainteresowanego podmiotu i wymaga uzgodnienia z szeregiem organów, m.in. ministrem właściwym ds. gospodarki, Ministrem Obrony Narodowej, regionalnym dyrektorem ochrony środowiska, Morskim Oddziałem Straży Granicznej oraz wojewódzkim konserwatorem zabytków. Dodatkowo zasięgana jest opinia BHMW oraz Morskiej Służby Poszukiwania i Ratownictwa (art. 32d ust. 2).

Wniosek o udzielenie pozwolenia musi zawierać szczegółowy zestaw informacji dotyczących planowanej operacji. Należą do nich m.in.:

- lokalizacja działań wraz ze współrzędnymi,
- identyfikacja wraku,
- określenie rodzaju materiału niebezpiecznego,
- opis metody neutralizacji wraz z analizą możliwego oddziaływania na środowisko morskie i obszary chronione,
- ocena ryzyka i propozycje działań zapobiegawczych,
- wpływ operacji na stan zachowania zabytków podwodnych i na bezpieczeństwo żeglugi,
- planowany harmonogram działań (art. 32d ust. 3).

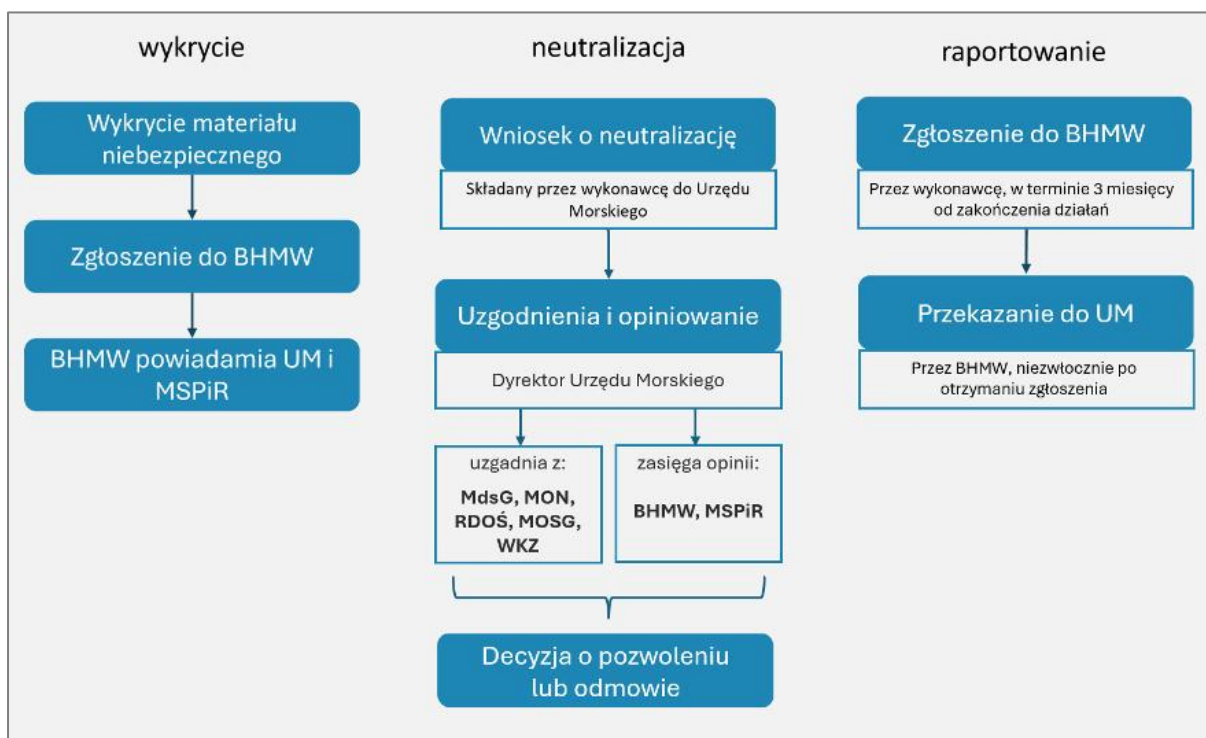
W przypadku gdy neutralizacji podlega broń chemiczna, wymagane jest dodatkowo przedstawienie kopii stosownego pozwolenia na prowadzenie działalności z użyciem toksycznych związków chemicznych, wydanego zgodnie z właściwymi przepisami (art. 32d ust. 4).

Organ wydający pozwolenie jest zobowiązany odmówić zgody, jeżeli bilans potencjalnych zagrożeń – dla żeglugi, środowiska, bezpieczeństwa państwa lub stanu zachowania zabytków – przewyższa przewidywane korzyści wynikające z neutralizacji (art. 32d ust. 5). Mechanizm ten pełni funkcję zabezpieczenia przed podejmowaniem działań nadmiernie ryzykownych lub niewłaściwie zaplanowanych.

Po zakończeniu działań identyfikacyjnych, badawczych, monitorujących lub neutralizacyjnych wszystkie dane pomiarowe oraz informacje dotyczące operacji muszą zostać przekazane do BHMW w terminie 3 miesięcy (art. 32e). Biuro przekazuje je następnie do dyrektora właściwego urzędu morskiego, zapewniając centralizację danych i ich dalsze wykorzystanie.

RAMY INSTYTUCJONALNE

W świetle przepisów krajowych ścieżka postępowania w przypadku identyfikacji i neutralizacji zatopionych materiałów niebezpiecznych jest jednoznacznie określona w wyżej opisanym art. 32b–e ustawy z dnia 21 marca 1991 r. *o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej* (Dz.U. 1991 nr 32 poz. 131 z późn. zm.) (Rysunek 9 i Tabela 13). PNZ przyjmuje tę ścieżkę jako wiążącą i nie wprowadza alternatywnych struktur instytucjonalnych ani proceduralnych. Działania rekomendowane w PNZ stanowią rozwinięcie techniczne i operacyjne obowiązków wynikających z ustawy, a nie ich zastąpienie.



Rysunek 9. Fazy procesu neutralizacji zagrożeń zgodne z art. 32b–e ustawy z dnia 21 marca 1991 r. o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej (Dz.U. 1991 nr 32 poz. 131 z późn. zm.) (źródło: opracowanie własne)

Tabela 13. Ramy instytucjonalne zgodnie z art. 32b–e ustawy z dnia 21 marca 1991 r. o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej (Dz.U. 1991 nr 32 poz. 131 z późn. zm.) (źródło: opracowanie własne)

Instytucja	Rola w procesie	Etap procesu	Uwagi / znaczenie dla przypadku T/S Franken
Wykonawca / podmiot zgłaszający	Zgłasza wykrycie; składa wniosek o neutralizację; prowadzi prace; przekazuje dane	Zgłoszenie, decyzja, operacje, raportowanie	Wrak zlokalizowany i opisany
BHMW	Przyjmuje zgłoszenia; powiadamia UM i MSPiR; wydaje opinię; przyjmuje i przekazuje dane po operacji	Wczesne zgłoszenie, uzgodnienia, raportowanie	
Dyrektor Urzędu Morskiego (organ właściwy)	Wydaje pozwolenia; prowadzi proces uzgodnień; ocenia bilans korzyści i zagrożeń; przyjmuje dane końcowe	Decyzja administracyjna	W przypadku T/S Frankena objętego immunitetem możliwa konieczność notyfikacji państwa bandery, jeśli działania naruszają integralność konstrukcji
Minister ds. gospodarki	Uzgodnienie wniosku; pozwolenie na substancje toksyczne (chemiczne)	Uzgodnienia	Szczególnie ważne przy broni chemicznej
Minister Obrony Narodowej / Marynarka Wojenna	Uzgodnienia; wkład merytoryczny przy UXO; dodatkowe pozwolenia dla broni chemicznej	Uzgodnienia	Istotne przy elementach wojskowych/amunicji

Instytucja	Rola w procesie	Etap procesu	Uwagi / znaczenie dla przypadku T/S Franken
RDOŚ	Uzgodnienia dot. obszarów chronionych oraz OOS/Natura 2000	Uzgodnienia	Szczególnie istotne dla Franken zalegającego w pobliżu obszarów Natura 2000 i rezerwatów
Komendant MOSG	Uzgodnienia ws. bezpieczeństwa i ochrony	Uzgodnienia	Ryzyka dla ruchu statków i bezpieczeństwa państwa
Wojewódzki konserwator zabytków	Uzgodnienia dot. dziedzictwa kulturowego	Uzgodnienia	Wrak T/S Franken nie jest objęty ochroną konserwatorską
MSPiR	Powiadamiany o zagrożeniu; wydaje opinię do wniosku	Wczesna reakcja, opinia	Współpraca operacyjna przy zagrożeniach i bezpieczeństwie

3 TECHNOLOGIE NEUTRALIZACJI I REMEDIACJI

W niniejszym dokumencie pojęcie *neutralizacji* stosowane jest w znaczeniu operacyjnym, odnoszącym się do działań technicznych prowadzących do faktycznego usunięcia lub eliminacji zagrożenia. Natomiast proces neutralizacji obejmuje pełny cykl działań przygotowawczych, analitycznych i organizacyjnych, których celem jest doprowadzenie do skutecznej neutralizacji w terenie.

Definicja metody *Neutralizacja zagrożeń* została opracowana przez autorów w wąskim ujęciu – jako metody operacyjne, wykonawcze:

Neutralizacja zagrożeń to działanie techniczne lub zestaw działań wykonawczych prowadzących do trwałego usunięcia, zniszczenia, zabezpieczenia lub odizolowania zidentyfikowanego źródła zagrożenia – w przypadku PNZ takiego jak: amunicja konwencjonalna, bojowe środki trujące, paliwa i produkty ropopochodne – w sposób eliminujący lub istotnie ograniczający jego szkodliwe oddziaływanie na środowisko.

Efektem neutralizacji jest pozbawienie zidentyfikowanego źródła zagrożenia właściwości niebezpiecznych do poziomu uznanego za akceptowalny poziom ryzyka resztkowego zgodnie z zasadą ALARP lub uczynienie obiektu bezpiecznym.

Poza zakresem niniejszego opracowania pozostają techniki o charakterze doraźnym, stosowane w ramach reagowania kryzysowego, np. awaryjne zbieranie oleju z powierzchni wody lub toni wodnej.

W niniejszym rozdziale przedstawiono poszczególne metody neutralizacji, wraz z ich parametrami, zaletami, ograniczeniami i efektywnością, w podziale na typy zagrożeń.

3.1 Neutralizacja paliwa we wrakach oraz skażonego osadu

3.1.1 Usuwanie paliwa z wraków

Usuwanie zagrożeń wynikających z obecności paliwa we wrakach jest kluczowym zadaniem w ochronie środowiska morskiego, szczególnie w przypadku wraków zawierających znaczne ich ilości, które mogą stanowić zagrożenie dla ekosystemu. Działania te różnią się w zależności od głębokości zalegania wraku, jego stanu, rodzaju i ilości paliwa oraz dostępnych technologii. Do działań mających na celu usuwanie paliwa ze środowiska morskiego zalegającego w wrakach można zaliczyć:

- hot tapping – metoda polegająca na wierceniu otworów w zbiornikach paliwa i pompowaniu oleju za pomocą pomp wyporowych. Warianty, takie jak podgrzewanie oleju, są stosowane do ciężkich paliw;
- usuwanie wraków – w niektórych przypadkach wrak lub jego części są podnoszone na powierzchnię, co pozwala na usunięcie paliwa i rozbiórkę;
- System Pasywnego Zbierania (DIFIS – *Double Inverted Funnel for the Intervention on Shipwrecks*), metoda pasywna wykorzystująca leje do zbierania wyciekającego oleju, co jest mniej inwazyjne;
- odpompowanie bezpośrednie – polegające na wprowadzeniu do zbiornika przewodu ssącego lub pompy z wykorzystaniem możliwego dostępu (włazy, pokrywy, armatura, systemy odpowietrzania).

3.1.1.1 Hot tapping

Hot tapping (wiercenie pod ciśnieniem) to technika stosowana m.in. w przemyśle naftowym i gazowym, która umożliwia podłączenie się do rurociągu lub zbiornika bez konieczności zatrzymania przepływu medium. W przypadku wraków metoda ta pozwala na bezpieczne usuwanie paliw, olejów i innych substancji niebezpiecznych, minimalizując ryzyko wycieku i skażenie środowiska. Stosuje się ją także do wraków z II wojny światowej, które są często mocno skorodowane – bez konieczności ich podnoszenia. Dzięki temu ogranicza się ryzyko niekontrolowanego wycieku i związanych z nim długoterminowych skutków, takich jak zanieczyszczenie wody, utrata organizmów morskich czy szkody dla lokalnych społeczności zależnych od rybołówstwa.

Znaczenie tej technologii zostało podkreślone m.in. w raporcie NOAA (2013), w którym wskazano, że wiele wraków stanowi średni priorytet pod względem ryzyka potencjalnego wycieku w najgorszym scenariuszu.

Stosowane są dwa warianty metody hot tapping:

- standardowa – polegająca na wierceniu otworów w zbiornikach zawierających paliwa wraku i wypompowywaniu oleju przy użyciu specjalistycznych narzędzi oraz zdalnie sterowanych pojazdów podwodnych (ROV). Umożliwia ona dostęp do zbiorników bez konieczności wydobywania wraku. Do operacji stosuje się m.in. urządzenia takie jak *Moskito* firmy Miko Marine, które integrują mocowanie do kadłuba, wiercenie i podłączenie węża w jednym systemie. Kluczową rolę odgrywają również pompy wyporowe oraz ROV;
- hot tapping z podgrzewaniem (*Heated Hot Tapping*) – stosowana w przypadkach konieczności odpompowania ciężkich paliw o wysokiej lepkości. Olej zostaje podgrzany parą lub gorącą wodą, co umożliwia jego upłynnienie i bezpieczne wypompowanie. Technika wykorzystuje podobne narzędzia jak standardowy hot tapping, lecz wymaga dodatkowego wyposażenia do podgrzewania, np. kotłów parowych. Przykłady zastosowania obejmują m.in. operacje na wrakach *Manolis L* (Nowa Fundlandia) i *MV Schiedyk* (Vancouver Island), gdzie podgrzewanie umożliwiło skuteczne usunięcie z nich znacznych ilości paliwa.

Przebieg operacji hot tapping odbywa się w kilku etapach:

- przymocowanie specjalistycznego narzędzia (np. *Moskito* firmy Miko Marine) do kadłuba wraku za pomocą elektromagnesów lub innych mechanizmów mocujących;
- kontrolowane wiercenie otworu w kadłubie, umożliwiające dostęp do zbiorników paliwa;
- instalacja zaworu regulującego przepływ substancji;
- w przypadku ciężkich paliw – podgrzanie ich parą lub gorącą wodą w celu obniżenia lepkości;
- przepompowanie paliwa lub innych toksycznych materiałów na powierzchnię przy użyciu pomp wyporowych, przystosowanych do pracy z substancjami o różnej lepkości – od oleju napędowego po ciężką ropę.

Moskito (Miko Marine)

Zaawansowane, zdalnie sterowane urządzenie elektryczne, integrujące wszystkie etapy operacji – mocowanie do kadłuba, wiercenie otworu oraz podłączenie węża do przepompowywania paliwa.

Specyfikacja techniczna:

- sterowanie za pomocą laptopa na powierzchni, pozycjonowanie z użyciem ROV lub nurków,
- mocowanie za pomocą trzech silnych elektromagnesów oraz regulowanych nóg trójnoga, co umożliwia pracę na nierównych powierzchniach,
- możliwość działania na głębokościach do 300 m (z lekką liną na średnich głębokościach),
- wiercenie otworu drenażowego o średnicy 4 cali, z prędkością posuwu 0,5 mm/min., w stali o grubości do 25 mm,
- parametry pompy: masa 330 kg, wymiary 1,35 × 0,80 × 0,80 m, zasilanie 230 V AC, moc 17,5 kW, maksymalny przepływ 50 m³/h.

Zastosowanie ROV jest kluczowe w operacjach hot tapping na dużych głębokościach. Przykładowo, w przypadku wraku Prestige (głębokość zalegania 3500 m) użyto zdalnie sterowanego pojazdu do wsparcia wszystkich etapów operacji: czyszczenia kadłuba, analizy zbiornika, wiercenia oraz przepompowywania paliwa przy użyciu specjalistycznych narzędzi (Alfons Håkan AB, 2015).

Przykłady operacji, w których zastosowano metodę hot tappingu, obejmują:

- wrak Argo (lokalizacja: Jezioro Erie, rok: 2016) – usunięcie 33 475 galonów toksycznej mieszanki (toluen, ksylen) przy użyciu gorącej pary i pompowania na barkę;
- wrak Manolis L (lokalizacja: Nowa Fundlandia, rok: 2018) – instalację zaworów hot tappingu z użyciem ROV na głębokości 70 m, co wyeliminowało ryzyko dla nurków i środowiska;
- wrak SS Jacob Luckenbach (lokalizacja: Kalifornia, rok: 2002) – usunięcie tysięcy litrów paliwa, zapobiegając katastrofie ekologicznej;
- wrak Prestige (lokalizacja: wybrzeże Hiszpani, rok: 2004) – opróżnienie zbiorników z wykorzystaniem ROV i systemu ROLS; usunięto 91 000 baryłek ciężkiego paliwa;
- wrak Park Victory (lokalizacja: Zatoka Fińska, lata: 1994–2000) – usunięcie 410 m³ ciężkiego paliwa podczas 6-letniej operacji;
- wrak M/S Estonia (lokalizacja: Morze Bałtyckie, lata: 1996–2006) – usunięcie 418 m³ paliwa (w tym 302 m³ różnych olejów), przy użyciu systemu ROLS i ROV.

Operacje hot tapping wymagają specjalistycznego sprzętu (ROV, pompy wyporowe, narzędzia takie jak *Moskito*) oraz wykwalifikowanego personelu, w tym operatorów ROV i/lub nurków. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 14).

Do głównych wyzwań związanych z operacjami hot tapping należą korozja i niestabilna struktura wraków, ograniczona dokumentacja techniczna, trudne warunki pogodowe wymagające wyznaczania stref bezpieczeństwa oraz obecność toksycznych substancji w zbiornikach. Koszty takich działań zależą przede wszystkim od ilości i rodzaju paliwa, liczby zbiorników, głębokości oraz uwarunkowań hydrologicznych i logistycznych.

Tabela 14. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody hot tappingu (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
- Dokładne wydobycie paliwa dzięki lepszemu dostępowi wizualnemu, zwłaszcza przy użyciu ROV - Możliwość pracy na większych głębokościach bez przestojów na zmianę personelu, co skraca czas realizacji - Redukcja ryzyka uwolnienia paliwa podczas pompowania i możliwość całkowitego opróżnienia zbiorników - Praca w trudniejszych warunkach pogodowych dzięki ROV – organicznie ryzyka dla nurków - Możliwość stosowania zarówno dla lekkich, jak i ciężkich paliw (wariant z podgrzewaniem)	- Wysokie koszty - Złożona logistyka, wymagająca zaawansowanego sprzętu i doświadczonego personelu - Proces czasochłonny, zwłaszcza przy dużej liczbie zbiorników i trudnych warunkach pogodowych - Konieczność utylizacji wydobytego paliwa i jego transportu – dodatkowe koszty - Wymaga dużej platformy wspierającej sprzęt, co może być problematyczne w niektórych lokalizacjach - Ograniczenia w ilości wydobytego paliwa i czasie operacji

3.1.1.2 Usuwanie wraków

Fizyczne usuwanie wraku polega na jego podniesieniu, jego relokacji w celu ułatwienia dalszych prac lub demontażu na miejscu – w całości lub w segmentach, np. poprzez usunięcie elementów stwarzających zagrożenie. Jest to metoda złożona i kosztowna, stosowana głównie w przypadkach, gdy:

- wrak lub jego ładunek stanowią znaczną wartość materialną decydującą o opłacalności wydobycia;
- wynika to ze szczególnych sytuacji przewidzianych w Konwencji NWRC;
- wrak znajduje się w płytkich wodach, stanowi przeszkodę nawigacyjną lub zawiera substancje niebezpieczne, które stwarzają zagrożenie dla środowiska.

Do technik usuwania wraków zalicza się:

- refloating pełny – podnoszenie wraku na powierzchnię wody poprzez uszczelnienie, usunięcie wody i mułu oraz wykorzystanie pontonów ratowniczych i/lub dźwigów;
- refloating częściowy – oderwanie wraku od dna morskiego poprzez nadanie mu nieznacznej pływalności w celu relokacji. Jeżeli stan wraku i podłoża na to pozwalają, możliwe jest także jego przeciągnięcie po dnie z użyciem holowników;
- cięcie i demontaż – rozcinanie wraku na mniejsze części, które są następnie usuwane.

Operacje usuwania wraków wymagają szczegółowego planowania, w tym oceny stanu wraku, wykonania prac związanych ze stabilizacją konstrukcji wraku i zapewnienia stateczności. Niezbędne jest również przeprowadzenie oceny wpływu operacji na środowisko, aby ograniczyć zakłócenia w ekosystemie morskim. Ze względu na konieczność zastosowania ciężkiego sprzętu i skomplikowanej logistyki, metoda ta jest znacznie droższa niż samo usuwanie paliwa. Przykładem jest Costa Concordia, której całkowite usunięcie kosztowało około 1,2 miliarda USD, wliczając podnoszenie, transport i złomowanie (Reuters, 2014). Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 15).

Tabela 15. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody usuwania wraków (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
- Całkowita eliminacja ryzyka wycieków oleju w przyszłości - Usunięcie zagrożeń nawigacyjnych dla żeglugi i poprawa bezpieczeństwa żeglugi - Możliwość rekultywacji dna i przywrócenia ekosystemu w miejscu zalegania wraku	- Wysokie koszty – od 10 mln do ponad 1 mld USD, jak w przypadku Costa Concordia - Złożoność techniczna – wymaga zaawansowanego sprzętu i specjalistycznej wiedzy - Znaczny wpływ na środowisko – zakłócenia w ekosystemie, zmętnienie wody, uszkodzenie dna morskiego - Często wymaga uprzedniego usunięcia innych materiałów niebezpiecznych (paliwa, amunicji) - Ograniczona wykonalność w przypadku dużych głębokości i złego stanu technicznego wraku

3.1.1.3 Systemy Pasywnego Zbierania (DIFIS)

System DIFIS, opracowany został przez Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) w ramach projektu finansowanego przez Unię Europejską¹⁹. To rozwiązanie przeznaczone jest do pasywnego zbierania oleju wyciekającego z wraków znajdujących się na dużych głębokościach, gdzie stosowanie metod aktywnych (np. hot tapping) jest zbyt ryzykowne lub niemożliwe.

System składa się z trzech głównych elementów:

- kopuła (*Dome*) – odwrócony lejek z materiału tekstylnego, zakotwiczony nad wrakiem, który przechwytyje wyciekający olej;
- rura wznosząca (*Riser Tube*) – elastyczna rura transportująca mieszaninę oleju i wody morskiej z kopuły do dzwonu buforowego;
- dzwon buforowy (*Buffer Bell*) – stalowa konstrukcja umieszczona 30–50 m poniżej powierzchni morza, służąca do: separacji oleju od wody, magazynowania zebranego oleju oraz utrzymywania sztywności całego systemu.

Proces działania rozpoczyna się od oceny wraku przy użyciu ROV, a następnie system jest rozmieszczany za pomocą dźwigów, z uwzględnieniem lokalnych warunków (prądy, głębokość, stabilność podłoża). Po instalacji DIFIS działa całkowicie pasywnie – olej wyciekający z wraku jest przechwytywany przez kopułę, transportowany rurą wznoszącą do dzwonu buforowego, gdzie następuje jego separacja od wody i magazynowanie. Olej jest następnie okresowo odbierany przez tankowce lub inne jednostki odbiorcze. System wymaga jedynie inspekcji okresowej i minimalnej konserwacji, co czyni go rozwiązaniem niskointensywnym w porównaniu z innymi metodami.

Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 16). Na podstawie materiałów eksperckich system DIFIS pozostaje głównie projektem badawczo-rozwojowym i nie ma jeszcze udokumentowanych przypadków jego zastosowania w rzeczywistych operacjach na wrakach. Złożony proces instalacji, ograniczenia konstrukcyjne kopuły i konieczność okresowego odbioru oleju wskazują na potrzebę dalszych badań i testów w warunkach rzeczywistych.

¹⁹ Projekt DIFIS *Double Inverted Funnel for the Intervention on Ship wrecks*, finansowany w ramach 6. Programu Ramowego EU

Tabela 16. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody DIFIS (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
- Skuteczność na dużych głębokościach (powyżej 4000 m), umożliwiająca obsługę wraków niedostępnych dla tradycyjnych metod (Marine Insight) - Efektywność kosztowa – potencjalnie tańsze niż klasyczne operacje wydobywania paliwa (1–10 mln USD) (Cozijn & Andritsos, 2011) - Minimalny wpływ na środowisko – pasywny charakter systemu ogranicza zakłócenia w ekosystemie morskim - Automatyzacja i niskie wymagania operacyjne – po instalacji system działa autonomicznie, zmniejszając ryzyko dla personelu i koszty operacyjne - Wszechstronność – obsługa różnych rodzajów oleju, w tym o wysokiej lepkości - Potwierdzona skuteczność w testach – symulacje komputerowe i modele w skali (1:60) potwierdziły niezawodność systemu w różnych warunkach (MARIN)	- Brak praktycznych wdrożeń – technologia pozostaje w fazie testowej (R&D) - Ograniczenia konstrukcyjne kopuły – średnica maks. ~100 m, co utrudnia zastosowanie przy dużych wrakach (Cozijn & Andritsos, 2011) - Ryzyko uszkodzeń rury wznoszącej w ekstremalnych warunkach (fale, prądy) - Konieczność okresowego odbioru oleju w trudnych warunkach pogodowych i odległych lokalizacjach - Złożony i kosztowny proces instalacji (badania dna, kotwienie, rozkładanie kopuły) - Początkowe problemy projektowe (wibracje VIV) wymagały modyfikacji systemu, rozwiązane w ostatecznej wersji (Cozijn & Andritsos, 2011)

3.1.1.4 Odpompowanie bezpośrednie

W przypadkach dostępu do zbiorników z paliwem na wraku poprzez różnego rodzaju włazy, pokrywy, armatury lub systemy odpowietrzania, i jeżeli równocześnie możliwym jest wprowadzenie do zbiorników instalacji ssących, istnieje możliwość odpompowania paliwa w sposób bezpośredni. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 17).

Tabela 17. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody powłok ochronnych (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
- Metoda stosunkowo szybka, mało inwazyjna i możliwa do lokalnego zastosowania - Niższe koszty w porównaniu do Hot Tapping - Brak konieczności ingerowania w konstrukcję wraku	- Ryzyko przedostania się paliwa do środowiska w trakcie otwierania zbiorników i podczas odpompowywania paliwa - Stan wraku (dostępność do zbiorników, możliwość otwarcie pokryw lub włazów)

3.1.2 Zabezpieczenie przed wydostawaniem się paliwa z wraków

W przypadkach braku możliwości odpompowania paliwa lub wydobywania wraku z paliwem, w zależności od uwarunkowań zarówno środowiskowych, techniczno-organizacyjnych, jak i ekonomicznych, można podjąć inne działania mające na celu minimalizację ryzyka przedostania się paliwa do środowiska morskiego, tj.:

- zastosowanie powłok ochronnych (*capping*);
- uszczelnianie wycieków;
- stabilizacja wraku lub jego otoczenia.

3.1.2.1 Powłoki ochronne (*capping*)

W przypadkach, gdy wrak znajduje się w zaawansowanym stanie korozji i bezpośrednie działania techniczne wiązałyby się z nadmiernym ryzykiem, stosuje się metody izolacji (*cappingu*) – przykrywanie wraku materiałami ochronnymi ograniczającymi ryzyko dalszych wycieków i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Jednym z przykładów rozwijanych rozwiązań jest projekt MAR-WRECK, realizowany przez Politechnikę Krakowską, HIBRID sp. z o.o., TU Freiberg i TU Liberec w ramach programu Horyzont 2020 / ERA-NET (NCBR)²⁰. Celem projektu jest opracowanie kompozytów geopolimerowych o wysokiej trwałości, przeznaczonych do zabezpieczania wraków i infrastruktury podwodnej przed korozją oraz uwolnieniem substancji niebezpiecznych (np. paliw).

Opracowywany materiał ma mieć niską emisję węglową i zawierać składniki pochodzące z recyklingu. Badane są różne techniki wytwarzania (odlewanie, druk 3D), umożliwiające łatwy montaż pod wodą i dopasowanie elementów do kształtu wraku. Projekt zakłada uzyskanie trwałego, przyjaznego środowisku materiału o wysokiej odporności na korozję i możliwościach zastosowania także w innych konstrukcjach morskich. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 18).

Tabela 18. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody powłok ochronnych (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Pozwala na izolację wraku bez ingerencji w jego strukturę, co zmniejsza ryzyko niekontrolowanego uwolnienia substancji niebezpiecznych • Może być stosowana w sytuacjach, gdy bezpośrednie działania są zbyt ryzykowne lub technicznie niemożliwe • Metoda szybka, stosunkowo mało inwazyjna i możliwa do lokalnego zastosowania • Ograniczony wpływ na środowisko dzięki użyciu materiałów o niskim śladzie węglowym i komponentów z recyklingu • Może mieć zastosowanie wielofunkcyjne – ochrona wraków i infrastruktury podwodnej przed korozją	• Metoda nadal w fazie badań i testów (projekt MAR-WRECK) – brak potwierdzonych wyników długookresowych • Nie usuwa źródła zagrożenia – ryzyko pozostaje w formie potencjalnej emisji przy uszkodzeniu powłoki • Trudność w ocenie długoterminowej skuteczności – konieczny monitoring stanu powłoki i podłoża • Skuteczność zależy od odpowiedniego doboru materiału i warunków hydrodynamicznych (prądy, erozja, sedymentacja) • Koszt i złożoność montażu podwodnego w zależności od kształtu i położenia wraku

3.1.2.2 Uszczelnianie wycieków

Metoda uszczelniania wycieków polega na identyfikacji i zamykaniu miejsc, z których olej może wydostawać się z wraków statków. Jest to szczególnie użyteczne w sytuacjach, gdy usunięcie oleju lub całego wraku jest niemożliwe lub zbyt kosztowne. Przykłady, takie jak *W.E. Hutton* i *Manolis L*, pokazują, że uszczelnianie może skutecznie zatrzymać wycieki, choć zwykle jest rozwiązaniem tymczasowym, wymagającym dalszego monitorowania. Metoda najlepiej sprawdza się przy małych, dobrze zlokalizowanych wyciekach i powinna być stosowana w ramach szerszej strategii zarządzania ryzykiem związanym z wrakami. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 19).

Proces uszczelniania realizowany jest w czterech etapach:

²⁰ Projekt MAR-WRECK - Development of geopolymer composites as a material for protection of hazardous wrecks and other critical underwater structures against corrosion, , planowany termin zakończenia: maj 2025; raport końcowy nieopublikowany

- lokalizacja wycieku – identyfikacja miejsc emisji z pomocą nurków lub ROV wyposażonych w kamery i sensory, co jest szczególnie przydatne w głębokich lub mętnych wodach;
- ocena uszkodzenia – określenie wielkości, kształtu i charakteru uszkodzenia (np. mały otwór, pęknięcie, większa szczelina) w celu doboru odpowiedniej metody uszczelnienia;
- zastosowanie materiału uszczelniającego – w zależności od rodzaju uszkodzenia stosuje się epoksydy (dwuskładnikowe żywice utwardzające się pod wodą), uszczelniacze neoprenowe (elastyczne materiały syntetyczne do większych uszkodzeń) lub zatyczki mechaniczne;
- monitorowanie – po uszczelnieniu wrak jest regularnie kontrolowany za pomocą ROV lub nurków, aby zapewnić trwałość uszczelnienia i brak dalszych wycieków.

Tabela 19. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia uszczelniania wycieków (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Koszty uszczelniania są znacznie niższe niż w przypadku usuwania oleju (1-10 milionów USD) czy całego wraku (do 1,2 miliarda USD) • Szybkość działania – możliwość natychmiastowego zatrzymania wycieku • Minimalny wpływ na środowisko – ogranicza zakłócenia w ekosystemie morskim, zmętnienie wody i uszkodzenie dna • Wszechstronność – metoda może być stosowana w różnych warunkach i na różnych głębokościach (jeśli wyciek jest dostępny dla nurków lub ROV)	• Tymczasowość – uszczelnienia (np. epoksydowe, neoprenowe) mogą ulegać degradacji, zwłaszcza na skorodowanych wrakach • Ograniczenia techniczne – metoda jest skuteczna tylko przy małych i średnich uszkodzeniach • Trudności w dostępie – głębokie, mętne lub burzliwe wody wymagają zaawansowanego sprzętu i wykwalifikowanego personelu • Ryzyko nieskuteczności – przy silnej korozji powierzchni materiały uszczelniające mogą nie przylegać prawidłowo

3.1.2.3 Stabilizacja wraku lub jego otoczenia

W szczególnych przypadkach wynikających z ryzyka zmiany położenia wraku lub jego fragmentacji pod wpływem jego masy, skutkującej możliwością uwolnienia paliwa, a jednocześnie przy braku możliwości jego usunięcia, zasadne może być podjęcie działań mających na celu stabilizację położenia wraku.

Zapobieżenie tej sytuacji może polegać np. na zapewnieniu ochrony antykorozyjnej konstrukcji wraku lub jej wzmocnieniu. Ponadto stabilizacja wraku uniemożliwiająca zmianę jego położenia lub fragmentacji może polegać na działaniach wokół niego. Możliwym rozwiązaniem jest modyfikacja ukształtowania dna morskiego w rejonie wraku, mająca na celu jego wzmocnienie (np. poprzez narzuty kamienne) zapobiegające erozji.

Każdorazowo wybór tego typu działań powinien być poprzedzony szczegółowym rozpoznaniem zarówno stanu wraku, jak i uwarunkowań środowiskowych w miejscu jego zalegania, w tym m.in.: charakterystyki osadów dennych, ukształtowania dna (batymetria), siły i kierunków prądów przydennych. Mając na uwadze, że przedmiotowe działania mają charakter pośredni i nie eliminują ryzyka wycieku paliwa z wraku, w celu oceny ich skuteczności konieczne jest monitorowanie zarówno stanu samego wraku, jak i wykonanych działań w obrębie dna morskiego wokół niego. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 20).

Tabela 20. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia stabilizacji wraku lub jego otoczenia (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Możliwe niższe koszty w porównaniu do kosztów wydobycia wraku • Brak ryzyk związanych z wydobywaniem wraku lub paliwa	• Rozwiązanie tymczasowe – nie usuwa źródła zagrożenia ze środowiska • Konieczność długotrwałego monitorowania efektów wykonanych prac po ich zakończeniu • Możliwość zastosowania w akwenach o głębokościach umożliwiającej prowadzenie prac modyfikujących dno morskie • Możliwość fizycznego wzmocnienia wraku ograniczone do mniejszych jednostek

3.1.3 Inne działania

3.1.3.1 Grodza (*cofferdam*)

Grodzenie polega na budowie tymczasowej, wodoszczelnej struktury wokół wraku, tworzącej suchy obszar roboczy. Pozwala to na bezpośredni dostęp do zbiorników paliwa i skuteczne usunięcie oleju, zwłaszcza w płytkich wodach. Do budowy i utrzymania grodzy wykorzystuje się pale, pompy oraz standardowy sprzęt budowlany. Metoda ta stosowana jest w ratownictwie morskim i inżynierii podwodnej, głównie w akwenach osłoniętych (porty, zatoki, ujścia rzek), gdzie warunki hydrodynamiczne pozwalają na bezpieczne prace. Ze względu na złożoność prac budowlanych, koszty operacji są prawdopodobnie wysokie, jednak brak jest dokładnych danych liczbowych.

Zgodnie z *U.S. Navy Salvage Manual* (2006) wyróżnia się trzy główne typy grodzy:

- pełne – obejmujące cały kadłub lub jego większość; budowa wymaga prefabrykacji, montażu podwodnego i znacznych zasobów inżynieryjnych; stosowane wyjątkowo;
- częściowe – wznoszone wokół luków lub wybranych sekcji wraku w celu lokalnego odwodnienia i dostępu;
- małe – instalowane wokół włazów i otworów, zwykle prefabrykowane lub improwizowane, używane doraźnie.

Budowa grodzy jest złożoną operacją wymagającą analizy stabilności, projektu odpornego na ciśnienie hydrostatyczne i zastosowania ciężkiego sprzętu podnoszącego. Metoda pozwala jednak na pełny dostęp do kadłuba wraku i możliwość pracy w suchym środowisku, co ułatwia usuwanie paliwa lub naprawy konstrukcyjne. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 21).

Tabela 21. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia grodzenia (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Umożliwia całkowite lub częściowe odwodnienie kadłuba i uzyskanie bezpośredniego dostępu do wnętrza wraku • Może być dostosowana do różnych zakresów prac – od małych napraw po pełne refloatingi • Umożliwia zastosowanie konwencjonalnego sprzętu ratowniczego i budowlanego • Stosowana w praktyce ratowniczej (<i>U.S. Navy Salvage Manual</i>, 2006)	• Bardzo wysokie koszty budowy i montażu grodzy • Ograniczone zastosowanie do akwenów osłoniętych (porty, zatoki, ujścia rzek) • Wysokie ryzyko utraty stateczności podczas odwadniania – wymaga analizy i ciągłego nadzoru inżynieryjnego • Złożony proces budowy – konieczność prefabrykacji, montażu przez nurków i użycia ciężkiego sprzętu podnoszącego

Zalety	Wady i ograniczenia
	Duża czasochłonność przygotowań; wymaga licznych zasobów ludzkich i technicznych

3.1.3.2 Działania uzupełniające

Oprócz powyżej opisanych działań polegających na usuwaniu lub minimalizowaniu ryzyka przedostania się do środowiska morskiego paliwa z wraków istnieje jeszcze szereg innych działań, które mogą być dodatkowo zastosowane w ramach poszczególnych scenariuszy:

- obniżenie lepkości paliwa – zastosowanie rozpuszczalników lub deemulgatorów w celu ułatwienia pompowania paliwa; metoda do zastosowania przy niewielkich ilościach paliwa ze względu na ryzyko środowiskowe;
- dyspersja chemiczna – polega na mieszaniu oleju z aktywnym środkiem chemicznym powodującym jego dyspersję; stosowana głównie w przypadku świeżych emisji powierzchniowych i podpowierzchniowych; wymaga wcześniejszego testowania szkodliwości dyspergentu oraz jego skuteczności; bardzo ograniczona możliwość stosowania dla zestarzałych olejów;
- sorpcja powierzchniowa – stosowanie oleofilnych, hydrofobowych sorbentów (np. polietylen); metoda ma ograniczoną skuteczność wobec olejów o dużej lepkości i jest stosowana jedynie przy niewielkich emisjach, ponieważ generuje znaczne ilości odpadów niebezpiecznych;
- absorpcja – użycie środków umożliwiających sorpcję w całej objętości, tzw. środków żelujących; stosowana głównie w przypadku lotnych substancji niebezpiecznych; technologia bardzo kosztowna;
- zamrażanie – metoda teoretyczna polegająca na zamrażaniu oleju w celu jego łatwiejszego usunięcia; niepraktyczna ze względu na skalę i trudności techniczne.

3.2 Remediacja osadów skażonych paliwem

Remediacja dna morskiego to proces mający na celu usunięcie, ograniczenie lub neutralizację zanieczyszczeń w osadach dennych, aby zminimalizować ich negatywny wpływ na środowisko i zdrowie ludzi. Możliwe do zastosowania metody dzielą się na dwie kategorie, tj. wykonywane bez wydobywania osadów (*in situ*) oraz wykonywane z wydobytym osadem (*ex situ*).

3.2.1 Metody *in situ*

3.2.1.1 Usuwanie

Usuwanie skażonych osadów stanowi kluczowy element remediacji dna morskiego, szczególnie w portach, zatokach czy rzekach, gdzie osady mogą zawierać metale ciężkie, związki organiczne (np. PCB, WWA) oraz substancje ropopochodne.

Proces ten wymaga stosowania szczelnych systemów pogłębiarskich, które ograniczają rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w środowisku wodnym i umożliwiają ich kontrolowane usuwanie. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 22).

Tabela 22. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia usuwania skażonych osadów (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
- Redukcja ładunku zanieczyszczeń u źródła (metale ciężkie, PCB/WWA, frakcje ropopochodne) i ograniczenie dyfuzji - Obniżenie ryzyka ekologicznego i zdrowotnego (mniejsza biodostępność, bioakumulacja i transfer troficzny) - Szybsze osiągnięcie norm jakości wód i osadów niż przy metodach pasywnych - Trwalszy efekt niż sam capping i mniejsze ryzyko uszkodzeń warstwy ochronnej - Większa odporność na powódzie, sztormy i intensywny ruch jednostek - Precyzyjne usuwanie hot spotów o najwyższych stężeniach - Możliwość kontrolowanej obróbki <i>ex situ</i> (odwadnianie, oczyszczanie odcieków, stabilizacja/mycie, termiczne unieszkodliwianie) - Odtwarzanie siedlisk (np. łąki podwodne, strefa litoralu) - Równoczesny rozwój infrastruktury wodnej (tory podejściowe, baseny portowe, mariny) - Wyższa akceptacja społeczna i korzyści ekonomiczne (znoszenie zakazów, poprawa atrakcyjności obszaru) - Lepsza weryfikowalność efektów (bilans masy, badania porealizacyjne)	- Ograniczona skuteczność dla głębokich lub złożonych zanieczyszczeń. Działa głównie do 30–50 cm; przy >50 cm skuteczność spada o 20–30%, często konieczne metody <i>ex situ</i> (Förstner & Apitz, 2007) - Krótkoterminowe zakłócenia ekosystemów dennych. Zmętnienie, zmiany uziarnienia, stres bentosu; spadek bioróżnorodności o 10–20%, odbudowa 1–3 lata (Mulligan et al., 2010) - Wysokie koszty początkowe – zaawansowane „szczelne” technologie i monitoring to 40–60% budżetu małych projektów (US EPA, 2005) - Złożona ocena skuteczności i monitoring. Wyniki zależne od typu zanieczyszczeń i warunków lokalnych; bioremediacja WWA/PCB: 30–80% skuteczności, konieczny ciągły monitoring (Perelo, 2010) - Usunięcie osadów wiąże się z resuspensją drobnych frakcji (ok. 10–15% usuwanej objętości); capping stosowany jako etap wtórny izoluje, lecz nie usuwa pozostałych zanieczyszczeń, co może wymagać działań uzupełniających - Głębokość – większość systemów jest ograniczona do głębokości 30–100 m, a głębsze prace wymagają specjalistycznych pomp - Pióropusze osadowe – nawet przy szczelnych systemach istnieje ryzyko minimalnego rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń

3.2.1.2 Nakrywanie (*capping*)

Nakrywanie to metoda remediacji polegająca na pokryciu skażonego dna warstwą czystego materiału, w celu odizolowania zanieczyszczeń i zapobieżenia ich uwalnianiu do środowiska wodnego. Jest to rozwiązanie alternatywne lub uzupełniające w stosunku do pogłębiania, stosowane, gdy usunięcie osadów jest zbyt kosztowne lub ryzykowne.

Najczęściej stosuje się piasek, żwir, glinę lub materiały syntetyczne (np. geo-membrany). Materiał musi być stabilny, odporny na erozję i dostosowany do lokalnych warunków hydrodynamicznych (prądy, fale). Rozprowadzany jest on za pomocą barek lub pogłębiarek wyposażonych w systemy rozładunku (np. rurociągi lub zrzutnie). Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 23).

Tabela 23. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia nakrywania (*capping*) (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
- Zapobiega bezpośredniemu kontaktowi zanieczyszczeń z organizmami wodnymi, redukując ryzyko dla ekosystemu - Stabilizacja osadów – chroni przed resuspensją i transportem zanieczyszczeń do innych obszarów	- Koszty – transport i rozmieszczenie dużych ilości materiału są kosztowne - Ryzyko erozji – na obszarach o silnych prądach warstwa może ulec uszkodzeniu

Zalety	Wady i ograniczenia
- Izolacja chemiczna – zmniejsza migrację rozpuszczonych zanieczyszczeń do kolumny wodnej, szczególnie przy użyciu aktywnych materiałów - Koszty – nakrywanie jest często tańsze niż usuwanie osadów, szczególnie w przypadku dużych powierzchni lub głębokich wód - Pokrywanie wraków zapobiega wyciekom do środowiska substancji toksycznych, takich jak paliwo	- Z czasem zanieczyszczenia mogą migrować przez nieszczelności w warstwie pokrywającej - Ograniczone zastosowanie – metoda nie usuwa zanieczyszczeń, a jedynie je izoluje, co może nie być akceptowalne w niektórych regulacjach

Remediacja dna morskiego za pomocą pogłębiania i nakrywania to złożone procesy wymagające specjalistycznego sprzętu i starannego planowania. Pogłębiarki, takie jak chwytałkowce, ssące czy z głowicą tnącą, są dostosowane do różnych głębokości i typów gruntu, co pozwala na elastyczne podejście do projektów. Usuwanie skażonych osadów wymaga szczelnych systemów i oczyszczania wody, aby zminimalizować wpływ na środowisko, choć jest to kosztowne i czasochłonne. Nakrywanie jest efektywną metodą izolacji zanieczyszczeń, szczególnie w przypadkach, gdy usuwanie osadów jest niepraktyczne. Koszty obu metod zależą od wielu czynników, ale nakrywanie jest często tańsze, szczególnie w dużych akwenach. Wybór odpowiedniej metody zależy od specyfiki projektu, rodzaju zanieczyszczeń i lokalnych regulacji.

3.2.1.3 Bioremediacja

Bioremediacja to metoda degradacji za pomocą mikroorganizmów. Smoła pogazowa oraz paliwa ciężkie, zawierające wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), stanowią trwałe i toksyczne zanieczyszczenia w środowiskach morskich, zarówno na powierzchni morza, jak i w osadach dennych. Bioremediacja, wykorzystująca mikroorganizmy takie jak bakterie i grzyby, jest ekologiczną metodą oczyszczania tych obszarów.

Przykłady bakterii skutecznie usuwających WWA:

- Pseudomonas putida* – skutecznie degraduje WWA takie jak benzo[a]piren, antracen i fenantren, głównie w warunkach tlenowych, przy pH neutralnym i temperaturze 30–40°C;
- Alcanivorax borkumensis* – specjalizuje się w rozkładzie alkanowych węglowodorów;
- Bacillus cereus* – tlenowe, częściowo beztlenowe, degraduje WWA z efektywnością 80,24% w 30 dni przy użyciu rhamnolipidów, działa w temperaturze do 60–70°C;
- Mycobacterium* sp. – rozkłada WWA zarówno o niskich, jak i wysokich masach cząsteczkowych w warunkach tlenowych;
- Rhodococcus* sp. – efektywny w degradacji WWA takich jak benzo[a]piren i fenantren, w warunkach tlenowych;
- Klebsiella pneumoniae* – fakultatywnie beztlenowa, rozkłada antracen, acenaften, fluoren, naftalen i mieszane WWA, działa w warunkach tlenowych i beztlenowych, preferuje stosunek C:N 10:2.

Na dnie morskim, w strefach beztlenowych, bakterie fakultatywnie beztlenowe, jak *Klebsiella pneumoniae*, są bardziej odpowiednie, choć sam proces bioremediacji wymaga dłuższego czasu.

Bioaugmentacja, czyli wprowadzanie specyficznych szczepów, może zwiększyć efektywność w takich warunkach.

Przykłady grzybów skutecznie usuwających WWA:

- *Pleurotus ostreatus* (bocznik ostrygowaty) – degradowe WWA takie jak fenantren i antracen, z efektywnością do 85% w ciągu 90 dni w warunkach tlenowych;
- *Phanerochaete chrysosporium* – znany z produkcji enzymów ligninolitycznych, skuteczny w rozkładzie złożonych WWA na substratach lignocelulozowych;
- *Trichoderma asperellum* H15 – degradowe fenantren w ciągu 14 dni w glebie z biostymulacją, co sugeruje potencjał w osadach morskich;
- *Aspergillus niger* (kropidlak czarny) – rozkłada fenantren, 9-fluorenon i antracen-9,10-dion w warunkach tlenowych;
- *Penicillium citrinum* – osiąga 77% efektywność w degradacji ropy naftowej w osadach namorzynowych;
- *Anthracophyllum discolor* – degradowe WWA z 75% efektywnością w ciągu 60 dni w warunkach tlenowych;
- *Marasmiellus* sp. CBMAI 1062 – osiąga niemal 100% degradację pirenu w 48 godzin.

Na dnie morskim, gdzie warunki są często beztlenowe, działanie grzybów jest ograniczone, ale w warstwach tlenowych osadów lub przy technikach zwiększających dostępność tlenu mogą być efektywne. Badania wskazują, że grzyby mogą przewyższać bakterie w degradacji wysoko masowych WWA w osadach o wysokim poziomie zanieczyszczenia. Bakterie i grzyby współpracują, uzupełniając swoje zdolności, co zwiększa efektywność bioremediacji w złożonych środowiskach morskich. Kluczowe zalety oraz ograniczenia bioremediacji przedstawiono w tabeli (Tabela 24).

Tabela 24. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia bioremediacji (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Ekologiczna metoda oczyszczania – wykorzystuje naturalne procesy biologiczne bez wprowadzania substancji chemicznych • Skuteczna wobec zanieczyszczeń organicznych, w tym WWA i frakcji ropopochodnych • Możliwość zastosowania <i>in situ</i> i <i>ex situ</i>; niskie koszty eksploatacji w porównaniu z metodami fizycznymi i chemicznymi • Bioaugmentacja umożliwia zwiększenie efektywności poprzez wprowadzanie wyspecjalizowanych szczepów • Potencjał synergiczny – współdziałanie bakterii i grzybów zwiększa skuteczność degradacji	• Proces długotrwały – pełna degradacja może wymagać tygodni lub miesięcy • Ograniczona efektywność w warunkach beztlenowych lub przy niskiej temperaturze • Ryzyko niestabilności biologicznej – konieczny monitoring i kontrola populacji mikroorganizmów • Skuteczność zależna od rodzaju zanieczyszczeń i dostępności tlenu w osadach

3.2.2 Metody *ex situ*

3.2.2.1 Desorpcja termiczna

Desorpcja termiczna to zaawansowana metoda stosowana do oczyszczania gruntów i osadów zanieczyszczonych mieszaninami ropopochodnymi (np. paliwa ciężkie, smoły pogazowe), w których

kluczowymi zanieczyszczeniami docelowymi są WWA oraz inne związki organiczne lotne i półlotne. Proces polega na podgrzewaniu zanieczyszczonego materiału w kontrolowanych warunkach, aby odparować substancje lotne i półlotne, które następnie są wychwytywane, oczyszczane lub spalane, minimalizując emisję do środowiska. Technologia ta znajduje zastosowanie zarówno w oczyszczaniu gruntów lądowych, jak i osadów dennych pochodzących z akwenów, w tym mórz, choć stosowana głównie *ex situ* (po wydobyciu osadu) ze względu na trudności techniczne związane z oczyszczaniem *in situ*.

Proces oczyszczania osadów dennych przebiega w następującej kolejności:

- wydobywanie – osady są wydobywane za pomocą pogłębiarek i transportowane na ląd; w przypadku mórz wymaga to specjalistycznego sprzętu odpornego na warunki morskie;
- suszenie wstępne – w celu wstępnego odwodnienia mechanicznego lub termicznego, aby zredukować koszty ogrzewania w procesie desorpcji;
- desorpcja termiczna – podgrzewanie osadu w reaktorach (np. bębnowych, fluidalnych lub ślimakowych). WWA oraz inne związki organiczne lotne i półlotne, które mają tendencję do adsorpcji na cząstkach osadu, są odparowywane w temperaturach 300–550°C;
- oczyszczanie gazów – gazy odlotowe zawierające WWA są kierowane do dopalania termicznego lub adsorpcji, aby zapobiec wtórnemu zanieczyszczeniu powietrza;
- zarządzanie oczyszczonym osadem – po procesie osad jest analizowany pod kątem pozostałości WWA. Jeśli spełnia normy, może być użyty np. w budownictwie (po stabilizacji) lub zwrócony do środowiska.

Kluczowe zalety oraz ograniczenia desorpcji termicznej przedstawiono w tabeli (Tabela 25).

Tabela 25. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia desorpcji termicznej (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Skuteczna w usuwaniu szerokiego zakresu substancji organicznych (WWA, smoły, pestycydy, paliwa) • Umożliwia odzysk i ponowne wykorzystanie oczyszczonego materiału (np. w budownictwie po stabilizacji) • Minimalizuje ryzyko wtórnego zanieczyszczenia poprzez oczyszczanie gazów odlotowych • Zapewnia trwały efekt – zanieczyszczenia są usuwane, a nie izolowane	• Wymaga wydobycia i transportu osadów – możliwa głównie w procesach <i>ex situ</i> • Wysokie koszty energetyczne procesu (podgrzewanie do 300–550°C) • Wymaga specjalistycznej infrastruktury i reaktorów termicznych

3.2.2.2 Mycie gruntu (*soil washing*)

Mycie gruntu, znane również jako płukanie gruntu, to zaawansowana technologia remediacji *ex situ*, która polega na płukaniu skażonego gruntu wodą lub roztworami chemicznymi w celu usunięcia zanieczyszczeń, takich jak WWA oraz inne związki organiczne lotne i półlotne.

Proces ten jest szczególnie przydatny do oczyszczania osadów morskich, wydobytych z dna morskiego, gdzie zanieczyszczenia głęboko wniknęły w strukturę osadu. Metoda jest uznawana za zaawansowaną technologię remediacyjną, skuteczną tam, gdzie tradycyjne techniki (np. bioremediacja czy capping) są

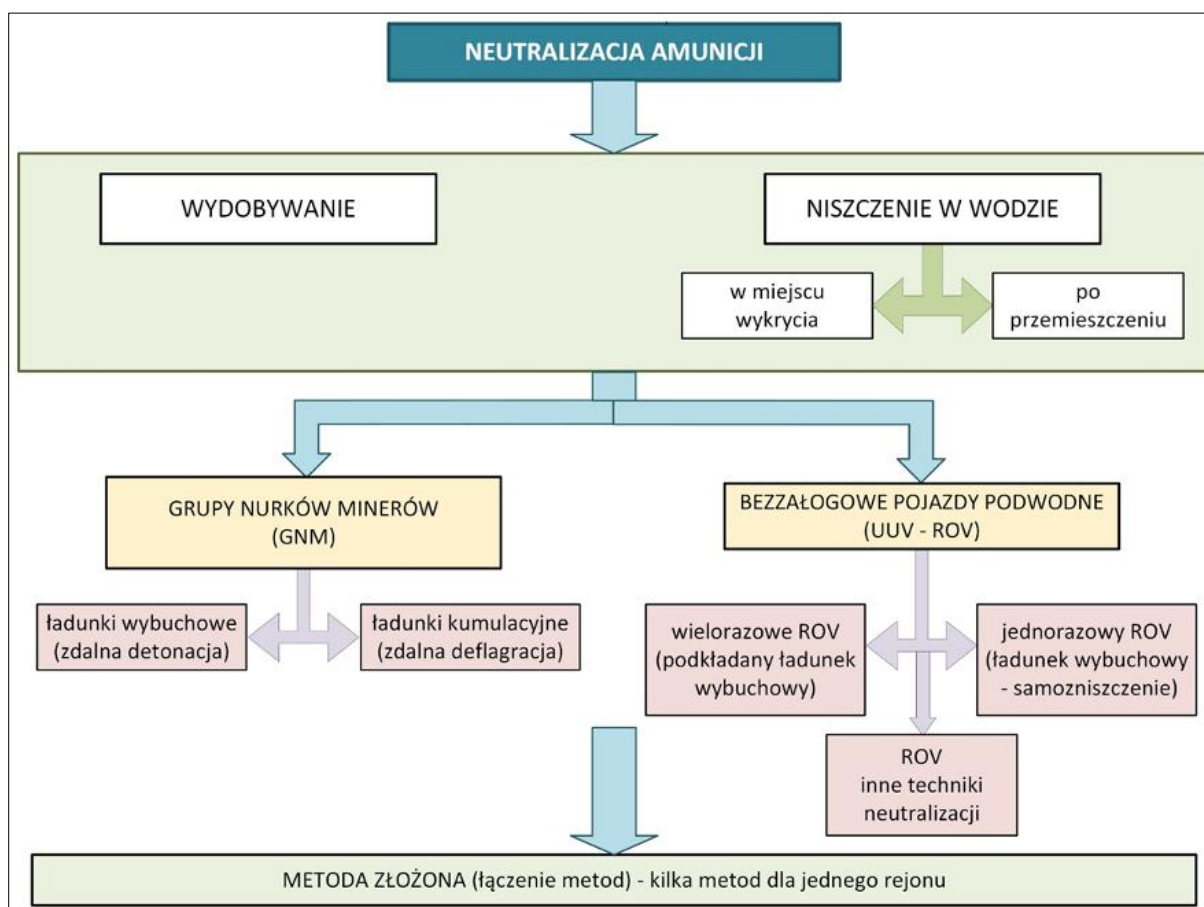
mniej efektywne. Prace takie jak Smith et al. (2015) oraz raporty EPA dostarczają szczegółów na temat zastosowania tej metody. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 26).

Tabela 26. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody mycia gruntu (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Skuteczna w usuwaniu szerokiego zakresu zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych • Umożliwia oczyszczenie osadów głęboko nasyconych substancjami ropopochodnymi i smołami • Może być łączona z innymi technikami (bioremediacja, stabilizacja, desorpcja) • Pozwala na odzysk oczyszczonego materiału i jego ponowne wykorzystanie	• Wymaga wydobycia i transportu osadów – możliwa głównie w procesach <i>ex situ</i> • Konieczność utylizacji lub oczyszczania wód poprocesowych • Skuteczność zależna od składu osadów i doboru środka myjącego • Wymaga dużych ilości wody i odpowiedniej infrastruktury technicznej

3.3 Neutralizacja amunicji konwencjonalnej

Niewybuchy (UXO), szczególnie z okresu wojen, stanowią poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa, środowiska morskiego oraz działalności gospodarczej, takiej jak budowa farm wiatrowych czy rurociągów. Wybór metody neutralizacji powinien być oparty na ocenie ryzyka i szczegółowych wytycznych (np. CIRIA C754), z uwzględnieniem bezpieczeństwa, kosztów i wpływu na środowisko. Techniki usuwania amunicji są zróżnicowane i dostosowane do specyfiki każdego przypadku, z uwzględnieniem bezpieczeństwa, kosztów i ochrony środowiska (Rysunek 10).



Rysunek 10. Schemat praktycznych metod neutralizacji amunicji (źródło: opracowanie własne)

3.3.1 Likwidacja zagrożenia w miejscu zalegania

3.3.1.1 Neutralizacja przez nurków

3.3.1.1.1 Detonacja

Detonacja – przy użyciu ładunków wybuchowych – to metoda polegająca na pełnej eksplozji, stosowana, gdy inne metody są niemożliwe, generująca wysoki poziom hałasu, zagrażający życiu morskemu. Jest to metoda najtańsza, najszybsza i najbardziej skuteczna, gdyż PWiN ulega całkowitemu zniszczeniu. Polega na przyłożeniu właściwej ilości materiałów wybuchowych w odpowiednim miejscu w zależności od rodzaju materiału, a następnie jego detonacji.

Jeżeli rozpoznanie wykazuje, że rodzaj PWiN nie pozwala na zmianę jego położenia z uwagi na niebezpieczeństwo niekontrolowanego wybuchu, metoda ta może być stosowana w miejscu jego znalezienia. Jeśli niszczenie w miejscu wykrycia miałyby zagrażać ważnym obiektom hydrotechnicznym lub instalacjom podwodnym, należy rozważyć inną metodę neutralizacji, zmniejszającą ryzyko uszkodzeń.

Gdy istnieje możliwość transportu PWiN do wyznaczonego miejsca niszczenia (np. na poligon morski lub lądowy), gdzie wpływ na infrastrukturę hydrotechniczną i środowisko naturalne będzie minimalny, najczęściej stosuje się metodę wybuchową.

W Morzu Bałtyckim, ze względu na wymagania środowiskowe, coraz częściej stosuje się kurtyny bąbelkowe podczas detonacji, aby zmniejszyć rozchodzenie się fal dźwiękowych i wstrząsów, chroniąc ssaki morskie i ryby (*Boskalis Search for UXO in the Baltic Sea – Heavy Lift News*).

Jeżeli obiekt nie stwarza bezpośredniego zagrożenia, może zostać wydobyty na powierzchnię przez wykwalifikowany personel (np. Zespół Rozminowania Grupy Nurków Minerów MW). Po wydobyciu i transporcie na brzeg obiekt przekazywany jest Patrolowi Saperskiemu, który przewozi go drogą lądową na poligon wojskowy, gdzie zostaje zniszczony metodą wybuchową. Metoda wybuchowa powoduje całkowitą neutralizację znalezionej obiektu, natomiast ma największy negatywny wpływ na środowisko naturalne oraz obiekty hydrotechniczne i instalacje podwodne znajdujące się w strefie niebezpiecznej. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 27).

Tabela 27. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody detonacji (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
- Pełna neutralizacja/całkowite zniszczenie obiektu, eliminujące dalsze zagrożenie - Najszybsza realizacja w porównaniu z alternatywami - Relatywnie najniższe koszty sprzętowo-czasowe - Bezpieczeństwo zespołu – zdalna inicjacja ogranicza ekspozycję nurków i personelu - Możliwa, gdy przemieszczenie PWiN jest zbyt ryzykowne - Można przeprowadzić w miejscu znalezienia lub po transporcie na poligon, co w sprzyjających warunkach minimalizuje wpływ na infrastrukturę i środowisko - Dojrzałość procedur i wyposażenia: sprawdzone standardy działania i szeroka dostępność sprzętu - Wysoka przewidywalność efektu przy właściwym doborze parametrów i zabezpieczeń	- Negatywny wpływ na środowisko – metoda najmniej preferowana w obszarach wrażliwych - Wysoki poziom hałasu i wstrząsów – zagrożenie dla ssaków morskich i ryb; konieczne strefy wyłączenia i środki łagodzące (np. kurtyny bąbelkowe) - Możliwość uszkodzenia obiektów hydrotechnicznych, kabli i rurociągów, zwłaszcza przy niszczeniu w miejscu wykrycia - Kolizje z ochroną dziedzictwa (wraki-zabytki, mogiły morskie) – ograniczenia prawne i etyczne - Ryzyko wtórnego zanieczyszczenia i ewentualnego uwolnienia substancji toksycznych z historycznych ładunków - Pozwolenia środowiskowe, koordynacja z administracją morską, ograniczenia sezonowe - Logistyka operacyjna – wyznaczanie stref bezpieczeństwa, czasowe wstrzymanie żeglugi/rybołówstwa, zabezpieczenie perymetru, wymóg specjalistycznego personelu i transportu - Zależność od warunków morskich - Ryzyko detonacji sympatycznej – wzbudzenie pobliskich obiektów lub przedwczesna inicjacja niestabilnych PWiN - Przy dużych obiektach konieczność wieloetapowych detonacji, co kumuluje oddziaływania akustyczne

3.3.1.1.2 Deflagracja

Deflagracja – przy użyciu ładunków kumulacyjnych – to mniej gwałtowna metoda, polegająca na spalaniu lub kontrolowanym unieszkodliwianiu, z niższym poziomem hałasu, co jest korzystniejsze dla środowiska (*Exploring Environmentally Safer UXO Disposal Methods*). Deflagrację przeprowadza się z zastosowaniem modułowych systemów kumulacyjnych Vulcan i Pluton. Nawet niepełny proces deflagracji zachodzący wewnątrz obiektu zmniejsza ilość ładunku głównego i przekłada się na mniejsze oddziaływanie na środowisko naturalne, infrastrukturę hydrotechniczną i instalacje podwodne znajdujące się w strefie niebezpiecznej.

Metodę tę najczęściej stosuje się, gdy nie ma możliwości przetransportowania PWiN w wyznaczone miejsce niszczenia. Wadą tej metody jest to, że proces deflagracji może przejść w niekontrolowaną detonację.

Ładunki kumulacyjne powinny być użyte w celu:

- otwarcia korpusu niewybuchu i uzyskania dostępu do wnętrza;
- rozczłonkowania korpusu i uszkodzenia mechanizmu wewnętrznego niewybuchu w takim stopniu, aby nie stwarzał on zagrożenia (był funkcyjnie niesprawny);
- „odcięcia” mechanizmów komory lub źródeł zasilających od detonatora lub „odcięcia” ładunku zasadniczego od detonatora;
- otwarcia bezpośredniego dostępu do ładunku zasadniczego i poprzez to umożliwienie jego usunięcia lub zlikwidowania w inny sposób;
- doprowadzenia do spalania wybuchowego lub deflagracji ładunku zasadniczego.

Skupione ładunki kumulacyjne – to podwodne kształtki kumulacyjne, cylindry, do których dołącza się podstawę. Z jednej strony znajduje się gniazdo zapalnika, a z drugiej strony cylinder wyposażony jest w odwrócony stożek – wkładkę kumulacyjną. Wkładki mogą być wykonane z plastiku, miedzi, aluminium lub magnezu. Cylinder powinien być wypełniony plastycznym materiałem wybuchowym. Dołączone nóżki lub statyw zapewniają zachowanie właściwych odległości w ułożeniu stożka do ładunku – co z kolei jest istotne dla uzyskania właściwego, zamierzonego efektu. Ładunek ten może być użyty pod wodą, jednakże strona z wkładką musi być zabezpieczona specjalnym stożkiem, który wytworzy przestrzeń powietrzną niezbędną do utworzenia efektu kumulacji. Stożek umożliwia utrzymanie prawidłowej odległości ładunku od przedmiotu neutralizowanego.

Wydłużone ładunki kumulacyjne – to materiały wybuchowe umieszczone w elastycznej osłonie, odpowiednio ukształtowanej – tak, aby na całej jej długości jedna strona była uformowana w kształcie odwróconej litery V z wkładką wykonaną z miedzi lub aluminium. Wydłużony ładunek wybuchowy może być formowany na różne sposoby – zależnie od konfiguracji ciętego materiału. Ciąć można zarówno materiały metalowe, jak i niemetalowe, na brzegu i pod wodą. W sytuacji cięcia pod wodą – ładunek powinien być zamontowany na ukształtowanej taśmie plastycznej. Wydłużony ładunek kumulacyjny powinien być umieszczony na korpusie niewybuchu w taki sposób, aby ryzyko towarzyszące uszkodzeniu mechanizmu wewnętrznego tylko w znikomym stopniu groziło wybuchem zapalnika lub ładunku zasadniczego. Umieszczenie ładunku powinno być zróżnicowane w zależności od typu neutralizowanego ładunku wybuchowego. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 28).

Tabela 28. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody deflagracja (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Mniej gwałtowna niż detonacja, spalanie/kontrolowane unieszkodliwianie zamiast pełnej eksplozji • Korzystniejsze dla środowiska morskiego (niższy poziom hałasu i mniejsza fala wstrząsowa) • Mniejsze oddziaływanie na środowisko i infrastrukturę: nawet częściowa deflagracja	• Ryzyko przejścia w niekontrolowaną detonację podczas procesu • Nie gwarantuje całkowitego zniszczenia: często wymaga dalszych działań • Złożoność techniczna i operacyjna – silna zależność od typu UXO, geometrii i bardzo precyzyjnego

Zalety	Wady i ograniczenia
zmniejsza masę ładunku zasadniczego, redukując strefę oddziaływań oraz ryzyko uszkodzeń obiektów hydrotechnicznych, kabli i rurociągów • Neutralizacja <i>in situ</i> – szczególnie gdy transport obiektu do miejsca niszczenia jest niemożliwy • Wsparcie narzędziami specjalistycznymi: modułowe systemy kumulacyjne (np. Vulcan, Pluton) oraz ładunki skupione/wydłużone umożliwiają precyzyjne działania pod wodą z zachowaniem właściwych odległości i efektu kumulacji	umiejscowienia ładunków; wyższe wymagania szkoleniowe i sprzętowe • Zależność od warunków środowiskowych: prądy, widoczność i konfiguracja ustawienia wpływają na uzyskanie efektu kumulacji; możliwe wydłużenie czasu operacji • Potencjalne rozszczelnienie i uwolnienie substancji niebezpiecznych z wnętrza obiektu (np. historyczne środki toksyczne) podczas otwierania korpusu • Wymogi regulacyjne i logistyczne – strefy bezpieczeństwa, koordynacja, potencjalne ograniczenia sezonowe • Możliwie wyższe koszty i dłuższy czas przygotowań niż przy detonacji, mimo mniejszego oddziaływania akustycznego

3.3.1.2 Neutralizacja przy użyciu pojazdu podwodnego

3.3.1.2.1 Detonacja

Detonacja ładunku wybuchowego (np. toczek) ustawionego przez ROV. Po ustawieniu ładunku pojazd podwodny wraca do okrętu, zostaje podniesiony na pokład, a ładunek jest odpalany za pomocą kodowanego sygnału hydroakustycznego, niszcząc PWiN.

Jest to system umożliwiający zdalne i bezprzewodowe odpalenie ładunków wybuchowych, opracowany w celu niszczenia min morskich, składa się z trzech typów ładunków bojowych. Poszczególne typy różnią się masą materiału wybuchowego oraz sposobem ich rozmieszczania w morzu w pobliżu obiektów docelowych.

Ładunki toczek typu A detonują miny morskie, a typu B niszczą ich głowice inicjujące, redukując potrzebę angażowania pływonurków dzięki użyciu zdalnie sterowanych pojazdów podwodnych ROV lub AUV. Najmniejszy ładunek typu C jest przenoszony przez pływonurków minierów, którzy podczepiają go do lin i łańcuchów min kotwicznych, powodując ich przecięcie i wypłynięcie miny na powierzchnię.

3.3.1.2.2 Detonacja za pomocą zdalnie sterowanego, samobieżnego ładunku wybuchowego jednorazowego użytku (np. „Głuptak”)

Zdalnie sterowany pojazd „Głuptak” to jednorazowy system przeznaczony do wykrywania, identyfikacji i niszczenia min morskich oraz innych niewybuchów. System składa się z jednostki nośnej z napędem i głowicy obrotowej, w której przed misją montowany jest kumulacyjny ładunek niszczący (elementy ładunku przechowywane są poza kadłubem ciśnieniowym). Ładunek przeznaczony jest do zniszczenia zapalnika lub pobudzenia ładunku miny poprzez bezpośrednie działanie strumienia kumulacyjnego.

Pojazd wodzi się z okrętu przy użyciu ciężkiego uchwytu wodującego, wyposażonego w dodatkowy zwój światłowodu (ok. 1500 m) — rozwiązanie to chroni przewód sterowniczy podczas zanurzenia. Sterowanie odbywa się z powierzchni przez operatora za pośrednictwem włókna światłowodowego; lokalizację i nawigację wspomagają hydroakustyczne systemy pozycyjne oraz okrętowe stacje hydrolokacyjne. Pojazd ma zdolności manewrowe pozwalające na zmianę kursu i głębokości w ruchu i w zawisie, a nawigacja może być wspierana automatycznie przez komputer sterowniczy.

Do wykrywania i precyzyjnego naprowadzenia służą miniaturowy sonar omiatający oraz kamery TV umieszczone przy głowicy. Operator identyfikuje cel na podstawie obrazu sonarowego i telewizyjnego, wybiera miejsce celowania na kadłubie miny, doprowadza pojazd od strony zaprądowej i ustawia głowicę tak, aby strumień kumulacyjny trafił w wybrany punkt. Po osiągnięciu pozycji ładunek jest zdalnie inicjowany — w warunkach bojowych detonacja niszczy cel i jednocześnie pojazd. Jeśli ładunek nie zostanie odpalony, przewidziane są procedury rozbrojenia i neutralizacji zapalnika przed odzyskiem lub dalszym postępowaniem.

Podczas misji rejestrowane są obrazy i dane (zapisy na dysku oraz grafiki naniesione na obraz TV), co pozwala na dokumentację przebiegu i wyników operacji oraz późniejszą analizę i archiwizację kart misji.

3.3.1.2.3 Zabezpieczenie *in situ*

Zabezpieczenia *in situ* dokonuje się poprzez umieszczanie amunicji w szczelnych zasobnikach wykonanych z siarkobetonu (materiału odpornego na korozję, ciśnienie wody i bezpośrednie uszkodzenia mechaniczne) lub innych zasobnikach, wykonanych np. ze stali, na dnie morza. Zlokalizowane elementy przenoszone są do trwałych zasobników wykonanych z siarkobetonu, które następnie są wypełniane dodatkową porcją siarkobetonu, aby całkowicie otoczyć UXO, i zamykane pokrywą z siarkobetonu, zapewniając szczelność i nieprzepuszczalność, co zapobiega wyciekom substancji niebezpiecznych. Tak zabezpieczone materiały są oznaczone oraz otoczone urządzeniami monitorującymi ich stan. Metoda ta jest innowacyjnym rozwiązaniem, które oferuje znaczące korzyści w zakresie bezpieczeństwa, ochrony środowiska i efektywności kosztowej. Jednak trudności z przyszłym usuwaniem UXO, wysokie koszty początkowe oraz brak konkretnych przykładów zastosowań wskazują na potrzebę dalszych badań i testów w warunkach rzeczywistych. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 29).

Tabela 29. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody zabezpieczenia *in situ* (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Czasowe zabezpieczenie materiałów niebezpiecznych do czasu opracowania najlepszej metody neutralizacji • Zapewnienie szczelności i ograniczenie ryzyka wycieków substancji niebezpiecznych • Oznakowanie i objęcie monitoringiem stanu zasobników • Potencjalne korzyści w zakresie bezpieczeństwa i ochrony środowiska oraz efektywności kosztowej (metoda innowacyjna)	• Odsunięcie problemu całkowitej neutralizacji w czasie • Brak udokumentowanych przykładów zastosowania — wymaga dalszych badań i testów w warunkach rzeczywistych • Trudności z przyszłym usuwaniem zabezpieczonych UXO (operacje demontażu/usuwania skomplikowane i kosztowne)

3.3.2 Wydobycie i utylizacja

3.3.2.1 Relokacja i odzysk amunicji

Relokacja i odzysk amunicji oznacza przeniesienie amunicji z wraku do bezpiecznego miejsca, w tym także na ląd, gdzie jest poddawana kontrolowanemu unieszkodliwieniu. W praktyce obejmuje dwa warianty:

- relokacja na morzu – przeniesienie niewybuchów w inne, mniej ryzykowne miejsce (np. z dala od rurociągów czy farm wiatrowych). W Morzu Bałtyckim Niemcy rozpoczęły pilotażowy program odzysku i utylizacji, z budżetem 100 mln euro, obejmujący operacje w Zatoce Lubeckiej²¹;
- odzysk i utylizacja na lądzie – wydobycie UXO i przekazanie do wyspecjalizowanych jednostek EOD (*Explosive Ordnance Disposal*) do trwałej neutralizacji. Jest to rozwiązanie preferowane, gdy możliwe, ale wymagające specjalistycznego sprzętu i nurków EOD, jak w operacjach NATO w Morzu Bałtyckim²².

W celu podniesienia amunicji stosuje się różne techniki w zależności od sytuacji, dostępności sprzętu, głębokości zalegania oraz wymogów bezpieczeństwa i ochrony środowiska. Można wydobywać amunicję za pomocą:

- wyspecjalizowanych nurków – metoda ta jest stosowana głównie w płytkich wodach, gdzie inne techniki, takie jak ROV, mogą być mniej efektywne lub niepraktyczne;
- zdalnie sterowanych pojazdów podwodnych (ROV) – na większych głębokościach, gdzie nurkowie nie mogą bezpiecznie operować. ROV są wyposażone w kamery, sonary, manipulatory i czasami ładunki wybuchowe;
- liny holowniczej (długość liny holowniczej równa się promieniowi bezpiecznemu, skalkulowanemu dla wagomiaru podnoszonego ładunku). Po oddaleniu się przez nurków i łodzi na bezpieczną odległość pontony powinny zostać wypełnione powietrzem (w sposób zdalny). Po wypłynięciu ładunku na powierzchnię – można rozpocząć holowanie;
- liny do podnoszenia – podniesiony bezpośrednio na pokład jednostki w przypadku braku zagrożenia wybuchem. Jeżeli podnoszony jest niezdetonowany ładunek, to wcześniej powinien być on przywrócony do stanu bezpiecznego. Wówczas należy uwzględnić faktyczną wagę ładunku pod wodą i na powierzchni.

Holowanie pontonów z zamocowanym ładunkiem może być wykonane przez dowolną jednostkę o wystarczającej mocy. Lina holownicza powinna mieć długość równą promieniowi bezpiecznemu i być zamocowana do przewidzianego uchwytu na ładunku. Holowanie prowadzi się z małą prędkością do miejsca wybranego przed rozpoczęciem operacji — najlepiej przy wysokiej wodzie, w osłoniętym akwenie i bez przeszkód podwodnych. Jeżeli stosowane są pontony wydobywcze, zaleca się użycie zaworów samootwierających. Przy braku napędzanych środków pomocniczych można ciągnąć ładunek ręcznie przy użyciu odpowiednio przygotowanych lin.

Specyfika ładunków wybuchowych nie zmienia zasad technicznych holowania, lecz wymusza przez cały czas zachowanie bezpiecznej odległości podczas przemieszczania. Należy także stosować narzędzia i elementy montażowe nieferromagnetyczne (amagnetyczne), aby zapobiec wpływowi pola magnetycznego na zapalniki lub inne czułe elementy ładunku. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawiono w tabeli (Tabela 30).

²¹ Environmental impact of unexploded ordnance in the Baltic Sea | ScienceDaily

²² Royal Navy divers help clear the Baltic Sea of unexploded ordnance

Tabela 30. Kluczowe zalety oraz wady i ograniczenia metody wydobycia i neutralizacji (źródło: opracowanie własne)

Zalety	Wady i ograniczenia
• Zwiększone bezpieczeństwo operacji przez przeniesienie UXO z obszarów wrażliwych (kable, rurociągi, farmy wiatrowe, porty) • Możliwość pełnej, kontrolowanej neutralizacji na lądzie (przekazanie do jednostek EOD) • Redukcja długoterminowego ryzyka i odblokowanie inwestycji/żeglugi • Elastyczność techniczna — wykorzystanie nurków, ROV, pontonów i lin podnoszących dopasowanych do głębokości • Lepsza identyfikacja i dokumentacja (klasyfikacja, pobieranie próbek, wybór metody neutralizacji)	• Wyższe koszty i czasochłonność oraz znaczne wymagania logistyczne i kadrowe (specjalistyczny sprzęt, nurkowie EOD, koordynacja prawna) • Ryzyko inicjacji podczas manipulacji (podnoszenie, holowanie, transport) i możliwość detonacji sympatycznej w skupiskach UXO • Ograniczenia operacyjne zależne od warunków morskich (pogoda, prądy, widoczność) i stanu ładunku (masa, korozja) • Ryzyko uwolnienia substancji toksycznych poprzez naruszenie osadów lub rozszczelnienie ładunku • Kolizje z ochroną dziedzictwa (wraki-zabytki, mogiły morskie) — ograniczenia prawne i etyczne

3.4 Podsumowanie

Przegląd dostępnych metod neutralizacji pokazuje, że nie istnieje jedno uniwersalne rozwiązanie neutralizujące zagrożenie ze strony zatopionych materiałów niebezpiecznych. Wybór techniki zależy od rodzaju zagrożenia (paliwo, osady, amunicja), głębokości zalegania i stanu wraku, uwarunkowań środowiskowych oraz kosztów i dostępnych technologii. Część metod jest już rutynowo stosowana w praktyce (np. Hot Tapping, detonacje UXO), inne pozostają rozwiązaniami niszowymi lub eksperymentalnymi (np. DIFIS, siarkobeton). W specyficznych sytuacjach wybór odpowiedniego scenariusza działań może być połączeniem kilku metod, w zależności od złożoności zagrożenia oraz uwarunkowań środowiskowych, technicznych, logistycznych, społecznych i ekonomicznych.

Wszystkie opisane metody neutralizacji zatopionych materiałów niebezpiecznych wymagają spełnienia określonych wymogów prawnych i proceduralnych wynikających z przepisów krajowych i międzynarodowych dotyczących ochrony środowiska, bezpieczeństwa żeglugi i gospodarki morskiej. Przed przystąpieniem do działań niezbędne jest uzyskanie odpowiednich pozwoleń środowiskowych i administracyjnych, w tym decyzji dotyczących prowadzenia prac podwodnych, wyznaczenia stref bezpieczeństwa oraz uzgodnień z organami wskazanymi w art. 32d pkt 2 ustawy z dnia 21 marca 1991 r. *o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej* (Dz.U. 1991 nr 32 poz. 131 z późn. zm.).

Istotnym elementem jest zapewnienie transparentności i akceptacji społecznej planowanych działań poprzez konsultacje z lokalnymi społecznościami i interesariuszami, zwłaszcza w rejonach użytkowanych gospodarczo (rybołówstwo, turystyka, żegluga).

Działania neutralizacyjne w obszarach morskich wymagają odpowiedniego oznakowania, dokumentowania i archiwizacji wyników, w tym nanoszenia lokalizacji zneutralizowanych obiektów na mapy i do rejestrów zagrożeń podwodnych.

Wszystkie metody, niezależnie od technicznego charakteru, wiążą się z obowiązkiem prowadzenia monitoringu środowiskowego przed, w trakcie i po zakończeniu operacji, zgodnie z obowiązującymi procedurami bezpieczeństwa i raportowania.

W tabeli (Tabela 31) przedstawiono techniki neutralizacji, wskazując ich status, zalety i ograniczenia.

Tabela 31. Podsumowanie głównych metod neutralizacji/remediacji zagrożeń potencjalnie występujących w rejonie wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne)

Rodzaj zagrożenia	Metoda	Status	Kluczowe zalety	Kluczowe wady i ograniczenia
Paliwo w zbiornikach wraków	Hot Tapping (w tym wariant podgrzewany)	Stosowana rutynowo, technologia komercyjna	Skuteczne i kontrolowane usuwanie paliwa bez podnoszenia wraku; zdalna praca ROV; minimalizacja wycieku	Wysokie koszty, złożona logistyka i sprzęt; ograniczenia głębokości (do ok. 300 m); konieczność utylizacji paliwa
Paliwo w zbiornikach wraków/cały wrak	Usuwanie wraków (Refloating / Demontaż / Relokacja)	Stosowana w wyjątkowych przypadkach	Całkowite usunięcie źródła zagrożenia; eliminacja ryzyka wycieku i przeszkód nawigacyjnych	Bardzo wysokie koszty i złożoność techniczna; duży wpływ na środowisko; ograniczona wykonalność na dużych głębokościach
Paliwo w zbiornikach wraków / wycieki	DIFIS	Projekt badawczo-rozwojowy	Pasywny, autonomiczny system o minimalnym wpływie na środowisko; skuteczny na dużych głębokościach	Brak praktycznych wdrożeń; złożony montaż; ograniczenia konstrukcyjne kopuły i konieczność okresowego odbioru oleju
Paliwo w zbiornikach wraków /cały wrak	Powłoki ochronne (Capping)	W fazie badań (projekt MAR-WRECK, Horyzont 2020 / ERA-NET)	Izolacja wraku bez ingerencji w jego strukturę; niska inwazyjność; możliwość wykorzystania materiałów o niskim śladzie węglowym	Nie usuwa źródła zagrożenia; brak danych o trwałości w warunkach długoterminowych; metoda w fazie testów
Paliwo w zbiornikach wraków / skażone osady denne	Grodzenie (Cofferdam)	Stosowana sporadycznie (technika ratownicza)	Umożliwia odwodnienie i dostęp do wraku w suchym środowisku; stosowana w akwenach osłoniętych	Bardzo wysokie koszty i złożoność techniczna; ograniczona do płytkich wód
Paliwo w zbiornikach wraków	Uszczelnianie wycieków	Powszechnie stosowana metoda tymczasowa	Szybkie zatrzymanie wycieku przy niskim koszcie i minimalnym wpływie na środowisko	Rozwiązanie tymczasowe; ograniczona trwałość i skuteczność przy dużych lub skorodowanych uszkodzeniach
Skażone osady denne (metale ciężkie, PCB, WWA, frakcje ropopochodne)	Usuwanie skażonych osadów	Stosowana rutynowo, technologia dojrzała	Skuteczna redukcja ładunku zanieczyszczeń u źródła; szybki efekt ekologiczny; możliwość obróbki <i>ex situ</i>	Wysokie koszty i ograniczona skuteczność przy głębokich zanieczyszczeniach; krótkotrwałe zakłócenia ekosystemów
Skażone osady denne	Nakrywanie (Capping)	Stosowana rutynowo, technologia dojrzała	Izolacja zanieczyszczeń; ograniczenie kontaktu z biotą; stabilizacja osadów; niższe koszty niż pogłębianie	Nie usuwa zanieczyszczeń; ryzyko erozji i migracji przez warstwę; ograniczenia w zastosowaniu regulacyjnym
Skażone osady denne (WWA, frakcje ropopochodne, smoła pogazowa)	Bioremediacja	Technologia rozwinięta, stosowana eksperymentalnie w środowiskach morskich	Ekologiczna metoda degradacji zanieczyszczeń organicznych; synergiczne działanie bakterii i grzybów	Proces długotrwały; ograniczona efektywność w warunkach beztlenowych i przy niskiej temperaturze
Skażone osady denne (WWA, smoły)	Desorpcja termiczna	Technologia komercyjna, stosowana głównie <i>ex situ</i>	Wysoka skuteczność; trwałe usunięcie zanieczyszczeń; oczyszczanie gazów odlotowych	Wysokie koszty energetyczne; ograniczona możliwość zastosowania <i>in situ</i>

Rodzaj zagrożenia	Metoda	Status	Kluczowe zalety	Kluczowe wady i ograniczenia
pogazowe, pestycydy, paliwa ciężkie)				
Skażone osady denne (WWA, smoły pogazowe)	Mycie gruntu (<i>Soil Washing</i>)	Technologia komercyjna, stosowana <i>ex situ</i>	Skuteczna dla szerokiego zakresu zanieczyszczeń; możliwość ponownego wykorzystania oczyszczonego materiału	Wymaga dużych ilości wody i odpowiedniego zaplecza technicznego; konieczność oczyszczania wód poprocesowych
Amunicja konwencjonalna	Detonacja (<i>in situ</i> lub po transporcie na poligon)	Stosowana tam, gdzie inne metody są niemożliwe lub transport obiektu jest zbyt ryzykowny	Pełna neutralizacja/całkowite zniszczenie obiektu; najszybsza i relatywnie najtańsza metoda; możliwość zdalnej inicjacji ograniczającej ekspozycję personelu; dojrzałe procedury i szeroka dostępność sprzętu	Największy negatywny wpływ na środowisko (hałas, wstrząsy); ryzyko uszkodzeń infrastruktury (kable, rurociągi); ryzyko wtórnego zanieczyszczenia i detonacji sympatycznej; wymogi pozwoleń i znaczna logistyka (strefy bezpieczeństwa, koordynacja, transport, specjalistyczny personel); ograniczona akceptowalność w obszarach wrażliwych; możliwy kumulatywny efekt akustyczny przy wieloetapowych detonacjach, ograniczenia przy wrakach-zabytkach.
Amunicja konwencjonalna	Detonacja zdalna / systemy ROV (toczek, „Głuptak”)	Wariant detonacji — stosowany tam, gdzie preferowane jest zdalne działanie lub zmniejszenie zaangażowania nurków	Umożliwia zdalne ustawienie i inicjację ładunku (ograniczenie ekspozycji nurków); precyzyjne naprowadzenie (sonar, kamera); rejestracja misji (dokumentacja); możliwość użycia różnych typów ładunków (A/B/C) i systemów jednorazowych („Głuptak”)	Wciąż generuje efekt wybuchowy (środowiskowe konsekwencje podobne do detonacji); jednorazowe systemy bywają utracone po misji; wymaga wsparcia platformy macierzystej i łącza sterującego (np. światłowodowego); jeśli ładunek nie zadziała, wymagana jest procedura rozbrojenia/odzysku
Amunicja konwencjonalna	Deflagracja (przy użyciu ładunków kumulacyjnych)	Metoda stosowana, gdy transport PWiN jest niemożliwy lub niebezpieczny	Mniej gwałtowna niż detonacja; niższy poziom hałasu i mniejsza fala wstrząsowa; redukcja strefy oddziaływań; możliwość neutralizacji <i>in situ</i> z użyciem systemów kumulacyjnych (Vulcan, Pluton)	Ryzyko przejścia w niekontrolowaną detonację; nie zawsze zapewnia całkowite zniszczenie; wysoka precyzja i złożoność techniczna; zależność od warunków środowiskowych i konfiguracji UXO; potencjalne uwolnienie substancji niebezpiecznych
Amunicja konwencjonalna	Zabezpieczenie <i>in situ</i> (zasobniki z siarkobetonu / stalowe)	Metoda innowacyjna / eksperymentalna — wymaga dalszych testów	Czasowe i szczelne zabezpieczenie UXO; ograniczenie ryzyka wycieków; możliwość monitoringu	Odsunięcie problemu w czasie; trudności w przyszłym usuwaniu; brak praktycznych przykładów zastosowania
Amunicja konwencjonalna	Relokacja i odzysk amunicji (nurkowie, ROV, pontony, liny)	Metoda preferowana, gdy możliwa; stosowana w celu przeniesienia UXO do bezpiecznego	Zwiększa bezpieczeństwo i umożliwia kontrolowaną neutralizację na lądzie; redukuje długoterminowe ryzyko; elastyczność techniczna (nurkowie/ROV/liny)	Wyższe koszty i wymagania logistyczne; ryzyko inicjacji przy manipulacji i możliwa detonacja sympatyczna; ograniczenia operacyjne związane z warunkami morskimi i stanem ładunku; ryzyko

Rodzaj zagrożenia	Metoda	Status	Kluczowe zalety	Kluczowe wady i ograniczenia
		miejsca/neutralizacji na lądzie		uwolnienia substancji toksycznych; ograniczenia przy wrakach-zabytkach.

4 SZACOWANIE KOSZTÓW

Szacowanie kosztów usuwania paliwa z wraków statków jest procesem skomplikowanym, ponieważ obejmuje zarówno bezpośrednie działania techniczne, jak i szerokie otoczenie regulacyjne oraz środowiskowe. Stosowane są różne podejścia – od analizy danych historycznych po modele oparte na ocenie ryzyka i kalkulacji jednostkowych kosztów sprzętu oraz pracy specjalistów. Najbardziej wiarygodne wyniki uzyskuje się, łącząc analizę wcześniejszych przypadków z oceną zagrożenia i potencjalnego wpływu na środowisko.

4.1 Czynniki kształtujące koszty

Na wysokość kosztów usuwania paliwa z wraków wpływa szereg czynników technicznych, środowiskowych i regulacyjnych. Do najważniejszych należą parametry jednostki, charakterystyka paliwa, warunki lokalizacyjne, a także czynniki związane z organizacją operacji i ograniczeniami administracyjnymi.

Wielkość wraku, ilość i rodzaj paliwa

Większe jednostki wymagają stosowania większej liczby punktów dostępowych oraz wykorzystania bardziej złożonych systemów transferu. Istotne znaczenie ma także rodzaj paliwa. Ciężki olej opałowy (HFO) wymaga podgrzewania przed wypompowaniem, co zwiększa zapotrzebowanie na energię, natomiast lżejsze frakcje (MGO, diesel) są łatwiejsze w usunięciu, lecz bardziej podatne na rozprzestrzenianie się w środowisku.

Lokalizacja wraku i głębokość zalegania

Głębokość wpływa bezpośrednio na dobór technologii neutralizacji. W płytkich wodach możliwe są działania z udziałem nurków, co znacząco obniża koszty, jak w przypadku wraku Princess Kathleen w rejonie Alaski. Na większych głębokościach konieczne jest stosowanie ROV i systemów DP1/DP2, co podnosi koszty nawet kilkukrotnie. Trudne warunki hydrodynamiczne i ograniczona widoczność dodatkowo wydłużają czas operacji.

Stan techniczny i stabilność konstrukcji

Uszkodzone, przeładowane osadami lub niestabilne wraki wymagają dodatkowych działań stabilizacyjnych, w tym wycinania elementów konstrukcyjnych, montażu zaworów awaryjnych czy zabezpieczenia miejsc hot tappingu. Każdy z tych etapów generuje dodatkowy nakład prac podwodnych i zwiększa ryzyko operacyjne.

Warunki meteorologiczne i hydrodynamiczne

Wysokość falowania, prądy i sezonowe zmiany pogody mogą powodować okresowe wstrzymanie prac, co wydłuża harmonogram operacji i zwiększa zapotrzebowanie na jednostki pływające oraz personel.

Dostępność portów i infrastruktury logistycznej

Znaczenie ma odległość od portu mobilizacji, dostępność jednostek o odpowiedniej klasie oraz możliwość zapewnienia zaplecza technicznego na lądzie. Ograniczona infrastruktura lub konieczność mobilizacji jednostek z odległych portów mogą istotnie podnieść koszty operacji.

Uwarunkowania środowiskowe i sezonowe

Operacje prowadzone na obszarach cennych przyrodniczo mogą podlegać sezonowym ograniczeniom wynikającym z okresów ochronnych (migracje ptaków, tarło ryb). Przerwy operacyjne wydłużają harmonogram i zwiększają koszty mobilizacji oraz czarteru jednostek.

Obecność materiałów niebezpiecznych (np. UXO)

Potencjalne zaleganie materiałów wybuchowych wymaga dodatkowego rozpoznania i ewentualnych działań neutralizacyjnych. Koszt tych prac może znacząco podnieść ogólny budżet operacji, szczególnie na wczesnym etapie przygotowania miejsca dostępowego.

Regulacje, pozwolenia i wymogi administracyjne

Uwarunkowania regulacyjne i administracyjne wpływają na przygotowanie operacji, obejmując uzgodnienia środowiskowe, inspekcje oraz kwestie ubezpieczeniowe. W regionach o rozbudowanych procedurach (jak Europa) proces ten może wydłużać harmonogram prac i pośrednio zwiększać koszty.

Koszty różnią się także regionalnie. W Europie, w tym na Morzu Bałtyckim, wysokie stawki pracy i rygorystyczne regulacje podnoszą cenę operacji nawet o 20–30% powyżej średniej światowej. W Ameryce Północnej koszty są umiarkowane, choć na obszarach wysokiego ryzyka – jak Zatoka Meksykańska – mogą znacząco wzrosnąć. W Azji i na Bliskim Wschodzie niższe koszty pracy równoważone są przez trudności logistyczne, a w Afryce i Ameryce Południowej ograniczona infrastruktura powoduje, że operacje bywają droższe niż średnia globalna.

Zróżnicowanie regionalne domyka katalog czynników wpływających na wysokość kosztów. W dalszej części przedstawiono, w jaki sposób poszczególne z nich przekładają się na konkretne kategorie kosztowe w operacjach usuwania paliwa z wraków.

4.2 Koszty techniczne i operacyjne

Przedstawione powyżej czynniki bezpośrednio przekładają się na strukturę i poziom kosztów operacji neutralizacyjnych. Znaczną część wydatków związanych z usuwaniem paliwa z wraków stanowią koszty techniczne i operacyjne, obejmujące mobilizację sprzętu, prace podwodne, wynajem jednostek specjalistycznych oraz obsługę logistyczną operacji. W praktyce to właśnie te elementy – a nie samo wypompowanie paliwa – decydują o ostatecznym budżecie działań.

Jednostki pływające i systemy podwodne

Najwyższą pozycję kosztową stanowi wynajem jednostek wyposażonych w systemy DP1/DP2, pojazdów ROV oraz zestawów do hot tappingu. W warunkach Morza Bałtyckiego stawki dzienne (*dayrate*) kształtują się następująco:

- jednostki DP1/DP2: **25–120 tys. EUR/dzień;**
- ROV klasy obserwacyjnej: **3–10 tys. EUR/dzień;**
- ROV klasy roboczej (work-class): **12–45 tys. EUR/dzień;**
- systemy do podgrzewania i transferu paliw: **5–20 tys. EUR/dzień.**

Na ostateczny koszt znacząco wpływa również czas oczekiwania na poprawę warunków pogodowych (*Waiting on Weather, WoW*). Operacje prowadzone w warunkach Bałtyku mogą być obciążone dodatkowymi 10–35% kosztów w stosunku do planowanych.

Mobilizacja i demobilizacja

Mobilizacja sprzętu i personelu to jedna z najbardziej niedoszacowywanych kategorii. Koszty obejmują:

- przejście jednostek z portu macierzystego (zużycie paliwa, czas pracy załogi);
- przygotowanie sprzętu i testy systemów;
- transport komponentów na miejsce akcji;
- przygotowanie zaplecza brzegowego.

W zależności od klasy jednostki i odległości od portu mobilizacja może kosztować od **100 do 600 tys. EUR**, przy czym w przypadku użycia kilku jednostek jednocześnie koszty te ulegają kumulacji. Podobny poziom dotyczy demobilizacji po zakończeniu prac.

Prace nurkowe i spawalnicze

Na płytszych wodach kluczową rolę odgrywają zespoły nurków, których dzienne stawki wahają się od **4,3 do 17,5 tys. EUR**, rosnąc do **44 do 70 tys. EUR** przy pracach na większych głębokościach, gdzie konieczne są mieszanki oddechowe i zabezpieczenie hiperbaryczne.

Spawanie podwodne stanowi niejednokrotnie niezbędny etap przygotowania wraku do usunięcia paliwa. Prace te należą do najbardziej kosztownych elementów całej operacji. Stawki kształtują się następująco:

- spawanie „na mokro”, stosowane do mniej krytycznych zadań: **130–306 EUR/h**;
- spawanie w komorach hiperbarycznych („suche”): **400–788 EUR/h**.

W operacjach wymagających otwarcia zbiorników paliwowych, montażu zaworów lub przygotowania punktów hot tappingu koszty spawalnicze mogą sięgać nawet kilkuset tysięcy dolarów.

Utylizacja paliwa i materiały eksploatacyjne

Do całkowitego kosztu usunięcia paliwa należy doliczyć jego transport i zagospodarowanie. W Europie, w tym w rejonie Morza Bałtyckiego, stawki za utylizację wynoszą **150–800 EUR za tonę**, w zależności od rodzaju paliwa, zawartości wody oraz dostępności certyfikowanych instalacji przetwarzania.

Dodatkowo w kosztorysie należy uwzględnić materiały eksploatacyjne (węże, pompy, sorbenty, elementy uszczelniające), które w przypadku dużych operacji mogą sięgać **50–150 tys. EUR**.

Monitoring i zabezpieczenie środowiskowe

W większości operacji wymagane jest prowadzenie monitoringu przed, w trakcie i po zakończeniu usuwania paliwa. Koszty obejmują:

- pobranie i analizę próbek wody i osadów;
- obserwacje wizualne i hydrograficzne;

- monitoring biologiczny;
- asystę jednostek antyrozlewowych.

W zależności od zakresu monitoring może kosztować **10–50 tys. USD** dziennie.

Koszty pozostałe (administracyjne i regulacyjne)

Do kosztów technicznych należy doliczyć elementy administracyjne, w tym:

- uzgodnienia i pozwolenia środowiskowe;
- inspekcje klasyfikacyjne;
- ubezpieczenia operacji wysokiego ryzyka;
- compliance HSE (Health, Safety & Environment);
- zabezpieczenie ratownicze (SAR/helikopter w gotowości).

Elementy te mogą łącznie zwiększyć budżet o **5–15%**, w zależności od skali działań i wymagań państwa nadbrzeżnego.

Globalne trendy wskazują na systematyczny wzrost kosztów takich operacji. Międzynarodowy Związek Ratowniczy odnotował wzrost swoich rocznych przychodów z 32 mln USD w 2004 roku do ponad 400 mln USD dekadę później, co odzwierciedla rosnące wymagania technologiczne i regulacyjne. Z tego powodu precyzyjne planowanie, gromadzenie danych o potencjalnych zagrożeniach i elastyczne modele szacowania kosztów stają się niezbędnym elementem przygotowania do działań neutralizacyjnych.

4.3 Analiza danych historycznych

Na podstawie danych z dotychczasowych operacji wiadomo, że koszty usuwania paliwa z wraków mieszczą się w bardzo szerokim przedziale – od kilkunastu do nawet kilkuset milionów dolarów. Historyczne dane wskazują, że koszt ten waha się od około 15 000 do 216 000 USD, zależnie od lokalizacji, głębokości i złożoności operacji. W przypadku większych jednostek i trudnych warunków koszt jednostkowy może sięgać nawet ponad 100 tys. USD za tonę a czasem nawet do 200 tys. USD. Dla porównania, w operacjach prowadzonych w płytkich wodach wartości te są kilkukrotnie niższe i wynoszą średnio 5–15 tys. USD/m³. Dokładne koszty usuwania paliwa są często trudne do wyodrębnienia, ponieważ stanowią część szerszych operacji ratunkowych, a dane bywają ograniczone.

Dane ze zrealizowanych operacji pokazują, że koszty usuwania paliwa z wraków wahają się od 15 mln USD na płytkich wodach (do 100 m) do ponad 200 mln USD na wodach głębokich poniżej 1000 m.

W tabeli (Tabela 32) przedstawiono zestawienie kosztów najważniejszych operacji usuwania paliwa z zatopionych jednostek.

Tabela 32. Zestawienie kosztów przykładowych realizacji (źródło: opracowanie własne)

Wrak (lokalizacja)	Koszt usunięcia paliwa [mln USD]	Ilość paliwa [t]	Koszt na tonę [USD]	Koszt na m ³ [USD]	Uwagi
Rena (Nowa Zelandia)	180	1550	116 129	104 560	Wysoki koszt na tonę wynikał z trudnych warunków i

Wrak (lokalizacja)	Koszt usunięcia paliwa [mln USD]	Ilość paliwa [t]	Koszt na tonę [USD]	Koszt na m ³ [USD]	Uwagi
					szybkiej reakcji na ryzyko wycieku
Costa Concordia (Włochy)	200	2385	83 845	75 471	Użyto metody hot tapping, zespół 100 ekspertów, wiele płat orm (Boskalis)
Princess Kathleen (Alaska USA)	12,5	468	26 709	24 038	Niższy koszt dzięki mniejszej skali i płytkiej lokalizacji
MSC Napoli (Wielka Brytania)	60 (50 mln GBP)	4000	~15 000	13 500	Część szerszej operacji trwającej 2,5 roku
Balt c Ace (Morze Północne)	67 (EUR), część kosztów	460	n.d.	n.d.	Koszt dotyczy cięcia i wydobywania wraku; nieporównywalne z odtankowaniem
Prest ge (Hiszpania)	112	10 000 wydobyto; 76 000 wyciekło	n.d.	n.d.	Jedna z najdroższych operacji z powodu głębokości

Przykłady te pokazują, że koszt usuwania paliwa może stanowić znaczną część całej akcji ratowniczej. Dla Costa Concordii samo odcięcie i wypompowanie paliwa oszacowano na 200 mln USD, natomiast całkowite koszty podniesienia i usunięcia wraku przekroczyły 1,3 mld USD. Podobnie w przypadku Rena – 180 mln USD wydano na usunięcie paliwa, a całkowite koszty operacji były nawet dwu- lub trzykrotnie wyższe.

Warto podkreślić, że w przypadku neutralizacji zagrożeń związanych z amunicją konwencjonalną i chemiczną zalegającą w polskich obszarach morskich, dostępność historycznych danych kosztowych jest ograniczona. Wynika to z faktu, że dotychczas działania tego typu były prowadzone przede wszystkim przez Marynarkę Wojenną RP w ramach jej budżetów operacyjnych, bez konieczności prowadzenia szczegółowego rozliczania nakładów według kategorii kosztowych. W związku z tym nie istnieją zweryfikowane, publicznie dostępne zestawienia kosztów historycznych, które mogłyby stanowić bezpośredni punkt odniesienia dla analiz porównawczych. Powoduje to, że szacowanie kosztów neutralizacji tych zagrożeń wymaga korzystania z podejść modelowych oraz analogii do operacji prowadzonych w innych krajach, co wiąże się z dodatkową niepewnością.

4.4 Metody szacowania kosztów

Szacowanie kosztów usuwania paliwa z wraków wymaga podejścia łączącego wiedzę techniczną, dane operacyjne oraz informacje o warunkach środowiskowych i regulacyjnych. Ze względu na duże zróżnicowanie opisanych wyżej czynników metody szacowania mają charakter probabilistyczny i uwzględniają znaczną niepewność. Celem nie jest określenie jednej wartości, lecz przedziału, w którym z wysokim prawdopodobieństwem znajdzie się koszt całkowity planowanej operacji.

Podstawą jest podejście bottom-up, polegające najpierw na dokładnym określeniu wymagań operacyjnych i technicznych danej metody, a następnie na oszacowaniu czasu pracy poszczególnych komponentów i przypisaniu im odpowiednich stawek dziennych lub godzinowych. W tak skonstruowanym modelu sumuje się koszty jednostek pływających wyposażonych w systemy DP, pojazdów ROV, zespołów nurkowych, prac spawalniczych, systemów transferu paliwa, zaplecza

brzegowego, utylizacji zebranych substancji oraz kosztów administracyjnych. Model buduje się na parametrach wejściowych wynikających z opisanych wcześniej czynników, takich jak głębokość zalegania wraku, temperatura i właściwości fizyczne paliwa, stopień rozszczelnienia zbiorników oraz stabilność konstrukcji. Uwzględnia się również dostępność miejsc do wykonania neutralizacji (np. punktów hot tappingu), odległość od portu mobilizacji oraz sezonowe warunki hydrometeorologiczne, które wpływają na możliwość prowadzenia prac.

Aby uwzględnić niepewność poszczególnych parametrów, stosuje się scenariusze P10, P50 i P90, które odzwierciedlają odpowiednio wariant optymistyczny, bazowy i pesymistyczny. W scenariuszu P50 zakłada się typowy, najbardziej prawdopodobny przebieg operacji, natomiast P10 i P90 pozwalają uchwycić skrajne wartości czasu trwania i nakładów finansowych, wynikające z trudniejszych warunków pogodowych, konieczności powtarzania części prac, dodatkowego zabezpieczenia konstrukcji czy ograniczeń sezonowych. W praktyce różnice pomiędzy P10 a P90 mogą być znaczące, wskazując na wysoki poziom ryzyka operacyjnego oraz konieczność rezerw budżetowych. Na Bałtyku jednym z najistotniejszych czynników generujących niepewność jest zmienność warunków pogodowych i związane z nią przerwy operacyjne, które mogą wydłużyć czas czarteru jednostek nawet o kilkadziesiąt procent.

Dodatkowym elementem metodyki szacowania kosztów jest analiza wrażliwości. Określa ona, które parametry mają największy wpływ na ostateczną wartość projektu. Najczęściej są to: głębokość zalegania wraku, długość operacji ROV, konieczność podgrzewania paliwa o wysokiej lepkości, odległość od portu mobilizacji, sezon operacyjny, a także konieczność przeprowadzenia prac wstępnych, takich jak zabezpieczenie konstrukcji czy neutralizacja materiałów niebezpiecznych. Analiza wrażliwości pozwala wskazać, na których etapach planowania niezbędne jest zebranie dodatkowych danych operacyjnych, aby zmniejszyć niepewność szacunków i uniknąć niedoszacowania kosztów.

W przypadku bardziej złożonych operacji stosuje się również modelowanie probabilistyczne, m.in. z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo. Symulacje Monte Carlo wykonywane są automatycznie w arkuszu kalkulacyjnym lub dedykowanym narzędziu, poprzez wielokrotne powtarzanie obliczeń kosztu całkowitego na podstawie losowo generowanych wartości parametrów wejściowych – takich jak czas pracy jednostek wyposażonych w systemy DP, długość operacji ROV, skala przerw pogodowych, czas podgrzewania paliwa czy zakres prac przygotowawczych na wraku. Parametry te mają określone przedziały możliwych wartości, wynikające z opisanych wcześniej czynników lokalizacyjnych, środowiskowych i technicznych. Losując ich kombinacje i obliczając odpowiadający im koszt, model odwzorowuje wiele możliwych przebiegów operacji i pozwala uzyskać pełny rozkład prawdopodobieństwa kosztów całkowitych. Dzięki temu możliwe jest określenie, jakie są najbardziej prawdopodobne koszty (np. scenariusz P50) oraz jakie jest ryzyko przekroczenia górnych progów budżetowych (np. P90), co jest szczególnie istotne w operacjach charakteryzujących się dużą zmiennością warunków i wysokim ryzykiem opóźnień. Wysoka liczba iteracji – zwykle kilkanaście tysięcy – pozwala uzyskać stabilne wyniki i porównać alternatywne warianty działań w sposób uwzględniający niepewność operacyjną.

Istotnym elementem szacowania jest także ujednolicenie danych kosztowych pochodzących z różnych lat i różnych regionów świata. W tym celu koszty historyczne przelicza się na euro według aktualnych kursów walut oraz wskaźników inflacyjnych właściwych dla kraju, w którym realizowano

operację. Umożliwia to zestawienie kosztów w jednolitej skali oraz porównywanie operacji wykonanych w odmiennych warunkach ekonomicznych, prawnych i technicznych. Tego typu przeliczenia są niezbędne przy budowaniu tabel kosztowych i analiz porównawczych przedstawionych w kolejnym podrozdziale.

4.5 Przykładowe koszty operacji z użyciem konkretnych metod neutralizacji paliwa we wrakach

Przedstawione w poprzednich podrozdziałach metody szacowania kosztów – w szczególności podejście bottom-up, analiza scenariuszy P10/P50/P90 oraz modelowanie probabilistyczne – umożliwiają przygotowanie zestawień kosztowych odnoszących się do konkretnych technik neutralizacji paliwa we wrakach. W praktyce neutralizacja może obejmować różne metody techniczne.

W celu porównania kosztów operacji prowadzonych w różnych regionach świata oraz w odmiennych warunkach ekonomicznych, technicznych i regulacyjnych, dostępne wartości przeliczono na euro według aktualnych kursów walutowych oraz odpowiednich wskaźników inflacyjnych. Ujednolicenie kosztów do jednej waluty umożliwia zestawienie operacji wykonanych w różnych latach i w odmiennych realiach rynkowych. Warto podkreślić, że koszty opisane poniżej odzwierciedlają zarówno specyfikę wybranej techniki neutralizacji, jak i uwarunkowania lokalne – w tym głębokość zalegania wraku, warunki pogodowe, dostępność infrastruktury, właściwości fizyczne paliwa oraz konieczność prowadzenia prac przygotowawczych.

Zestawienie obejmuje zróżnicowane operacje – od działań realizowanych w warunkach sprzyjających (płytsze akweny, dobry dostęp do zbiorników, stabilny wrak) po operacje w warunkach skrajnie trudnych, gdzie konieczne było zastosowanie zaawansowanych technologii, wielu jednostek pływających, pomp wysokowydajnych, systemów grzewczych oraz intensywnych prac podwodnych. Wynikowe wartości ilustrują typowe przedziały kosztowe dla operacji neutralizacji paliwa, przy czym ich rozpiętość odzwierciedla wysoką niepewność szacowania kosztów w uwarunkowaniach morskich, szczególnie na większych głębokościach lub w niestabilnych konstrukcyjnie wrakach.

W tabeli (Tabela 33) przedstawiono zestawienie kosztów wybranych operacji usuwania paliwa z wraków w przeliczeniu na euro. Tabela ma charakter poglądowy i służy jako odniesienie dla analizy kosztów potencjalnych działań neutralizacyjnych, które mogą być rozważane w odniesieniu do wraku T/S Franken.

Zestawienie to stanowi punkt odniesienia zarówno dla analiz porównawczych, jak i dla budowy wariantów kosztowych opisanych w poprzednim podrozdziale. Wskazuje również, że zakres możliwych kosztów neutralizacji jest szeroki i zależy od szeregu czynników operacyjnych oraz środowiskowych, co uzasadnia stosowanie metod probabilistycznych i wielowariantowych przy planowaniu działań związanych z wrakami zawierającymi paliwo.

Tabela 33. Skonsolidowane zestawienie dotyczące przeprowadzonych operacji mających na celu neutralizację zagrożenia ze strony paliwa zalegającego we wrakach
(źródło: opracowanie własne)

Wrak/ obszar/ lokalizacja	Główny cel interwencji	Zastosowane techniki i działania operacyjne	Głębokość / akwen	Koszt historyczny (waluta, rok)	Przeliczenie do EUR 2025 (wyższa wartość)	Operatorzy/ Wykonawcy	Kluczowe ryzyka techniczne	Główne źródła instytucjo- nalne	Ilość usuniętego paliwa	Czas trwania operacji usuwania paliwa
SS Jacob Luckenbach, USA (Kalifornia)	Usunięcie paliw (mystery oil source)	Hot tapping, ogrzewanie, wypompowanie	~50 m / Pacyfik	~19 mln USD (2003)	~30,76 mln EUR	USCG Unified Command; zespoły salvage	Dostęp do przestrzeni; ciężkie frakcje	USCG; NOAA OR&R; California OSPR	ok. 350 ton ciężkiego oleju (~2 450 barytek)	Brak precyzyjnego czasu – operacja wielotygo- dniowa, w materiałach podkreślono „przedłużone nurkowanie w zimnej wodzie”
USS Mississinewa (AO-59), Ulithi	Usunięcie paliw	Hot tapping, podgrzewanie, przepompowanie; odgazowanie	~36 m / Atol Ulithi (Pacyfik)	Kwota niepublikowa na wprost	Brak kwoty	NAVSEA SUPSALV; zespoły nurkowe/ROV	Praca na odwróco- nym kadłubie; bezpieczeńs two nurków/ ROV	NAVSEA/SU PSALV; NOAA RULET	ok. 6 813 ton	Brak precyzyjnego czasu; z opisu wynika, że operacja przebiegała w trybie ciągłym przez kilka tygodni
MV Manolis L, Kanada (Nowa Fundlandia i Labrador)	Ograniczenie wycieków i odzysk paliw	Lokalny grodze/box; uszczelnienia (epoksydy/ klamry); hot tapping i pompowanie	~70 m / Atlantyk Północno- Zachodni (zatoka)	~15 mln CAD (2018)	~12,24 mln EUR	Canadian Coast Guard; wykonawcy komercyjni	Niska temp. wody; pozycjonow anie cofferdam- ów	CCG; DFO	Brak dostępnej informacji	Brak dostępnej informacji

Wrak/ obszar/ lokalizacja	Główny cel interwencji	Zastosowane techniki i działania operacyjne	Głębokość / akwen	Koszt historyczny (waluta, rok)	Przeliczenie do EUR 2025 (wyższa wartość)	Operatorzy/ Wykonawcy	Kluczowe ryzyka techniczne	Główne źródła instytucjo- nalne	Ilość usuniętego paliwa	Czas trwania operacji usuwania paliwa
MV Princess Kathleen, USA (Alaska)	Usunięcie paliwa	Cap/grodze lokalne + hot tapping, ogrzewanie, pompowanie	~15–30 m / wody przybrzeżne	~12,5 mln USD (2011)	~16,06 mln EUR	USCG Sector Juneau; wykonawcy komercyjni	Silne prądy pływowe; kruchy kadłub	USCG; ADEC; NOAA OR&R	ok. 2620 barytek (~417 m ³ ; ~370– 380 ton)	Brak precyzyjnego czasu; z opisu wynika, że była to operacja wielotygo- dniowa w trudnych warunkach pływowych
Tank Barge Argo, USA (jezioro Erie)	Zabezpieczeni- e i odzysk ładunków (chemikalia)	Uszczelnienia punktowe; kontrola emisji; odpompowanie	~15 m; jezioro Erie	~5,8 mln USD (2016)	~7,08 mln EUR	USCG District 9; US EPA/Ohio EPA; wykonawcy	Toksyczne opary; strefy bezpieczeńs- twa	USCG D9; NOAA SSC; US EPA/Ohio EPA	ok. 33 475 galonów (~126 700 l ≈ 114 ton toksycznej cieczy: toluen, ksylen)	Operacja prowadzona w 2015–2016; z opisu wynika, że usuwanie cieczy trwało kilka miesięcy
MV Rena, Nowa Zelandia	Częściowy demontaż + cleanup	Zdejmowanie kontenerów; cięcie/wyciąganie sekcji; odzysk paliw	~7–30 m (rafiowe/skal- iste sekcje)	500–700 mln NZD (właściciel/20 14)	~474,3 mln EUR (właściciel/ ubez.)	Svitzer; Maritime NZ (koord. publiczna)	Prace na rafie; sztormy; wrażliwe siedliska	Maritime NZ; TAIC; BOPRC	ok. 1 550 ton paliwa (HFO)	Operacja prowadzona w 2011–2012; z opisu wynika, że: działania związane z usuwaniem paliwa i cleanup

Wrak/ obszar/ lokalizacja	Główny cel interwencji	Zastosowane techniki i działania operacyjne	Głębokość / akwen	Koszt historyczny (waluta, rok)	Przeliczenie do EUR 2025 (wyższa wartość)	Operatorzy/ Wykonawcy	Kluczowe ryzyka techniczne	Główne źródła instytucjo- nalne	Ilość usuniętego paliwa	Czas trwania operacji usuwania paliwa
										trwały ok. 2 lata
Costa Concordia, Włochy	Prostowanie, podniesienie, demontaż	Prostowanie wraku, podniesienie na pływakach i holowanie	~20–30 m; Morze Tyrreńskie	~1,5 mld EUR (2013–2014)	~1,95 mld EUR	Konsorcjum Titan Salvage + Micoperi; Protezione Civile	Deformacje kadłuba, ryzyko zsunienia, okna pogodowe	Protezione Civile; CEDRE	ok. 2 380–2 385 ton paliwa (HFO)	Usunięcie paliwa przeprowa- dzono w ciągu „kilku miesięcy” po katastrofie w 2012 r.
MV Baltic Ace, Holandia	Pełne usunięcie wraku	Cut & Lift (cięcie na sekcje + dźwigi); usunięcie paliw	~35 m; Morze Północne	~67 mln EUR (2014)	~83,75 mln EUR	Mammoet Salvage + Van Oord (Kontrakt RWS)	Stabilność sekcji, warunki Morza Północnego	Rijkswaterst aat; Kamerstuk en	ok. 460 ton paliwa (~460 000 l)	Faza usuwania paliwa - 2014 r.; brak informacji o liczbie miesięcy dokładny
U-864, Norwegia	Zmniejszenie ryzyka (rtęć)	Capping (piasek/kruszywo/ geotekstyli); warianty z liftingiem	~150 m; Morze Północne (szelf)	~1,5–2,0 mld NOK (ok. 2019, program)	~208,7 mln EUR	Kystverket; kontrakty wg decyzji rządowych	Stabilność osadów; sztormy; akceptacja społeczna	Kystverket; Min. Transportu; Storting	Brak dostępnej informacji	Program wieloletni, brak bardziej szczegóło- wych informacji
Rzeka Hudson PCB, USA	Remediacja osadów z PCB	Pogłębianie selektywne + capping; transport/ utyliczacja	Rzeka; sekcje z osadami PCB	~1,7 mld USD (2015)	~1,996 mld EUR	GE (wykonanie zgodnie z ROD); US EPA nadzór	Resuspensja PCB; bezpieczeńs two społeczno- ści	US EPA; GE project reports	nie dotyczy	Program remediacji prowadzony przez kilka lat (2009–2015)

Wrak/ obszar/ lokalizacja	Główny cel interwencji	Zastosowane techniki i działania operacyjne	Głębokość / akwen	Koszt historyczny (waluta, rok)	Przeliczenie do EUR 2025 (wyższa wartość)	Operatorzy/ Wykonawcy	Kluczowe ryzyka techniczne	Główne źródła instytucjo- nalne	Ilość usuniętego paliwa	Czas trwania operacji usuwania paliwa
Rzeka Kalamazoo, USA	Remediacja ropy w rzece	Usuwanie zanurzonej frakcji olejowej; capping stref; rekultywacja	Rzeka; odcinki z zanurzoną frakcją olejową	>1,2 mld USD (2010–2014)	~1,651 mld EUR	Enbridge (pod nadzorem US EPA R5); kontrakty remediacyjne	Emulsje i aglomeraty przydenne	US EPA R5; PHMSA; NTSB	Brak dostępnej informacji	program remediacji: ok. 2010– 2014; brak bardziej szczegóło- wych informacji
Port Oslo osady, Norwegia	Remediacja osadów portowych	Pogłębianie wybranych stref + capping inżynierski	Port (fiord Oslo)	~450 mln NOK (2012)	~52,83 mln EUR	Oslo Havn KF; wykonawcy capping/ dredging	Resuspensja osadów; koordynacja prac portowych	Oslo Havn KF; Norwegian Env. Agency	nie dotyczy	Wieloletni program remediacji (do 2012 r.); brak bardziej szczegóło- wych informacji

5 ANALIZA I ZARZĄDZANIE RYZYKIEM

5.1 Analiza ryzyka

Ocena ryzyka związanego z zaleganiem paliwa we wrakach statków jest kluczowym elementem zarządzania bezpieczeństwem środowiskowym Morza Bałtyckiego. Analiza ryzyka może pełnić podwójną funkcję: po pierwsze pozwala określić poziom zagrożenia wynikający z obecnego stanu wraku, a po drugie stanowi podstawę do wyboru odpowiedniej technologii interwencyjnej i sposobu prowadzenia prac w terenie.

Zarządzanie ryzykiem związanym z wrakami stanowiącymi potencjalne źródło zanieczyszczeń środowiska morskiego ma charakter wieloetapowy i opiera się na zasadach określonych w międzynarodowych standardach, takich jak ISO 31000 (ISO, 2009) oraz wytycznych Formal Safety Assessment (IMO, 2002). Proces ten obejmuje całość działań – od identyfikacji zagrożeń, poprzez ocenę ryzyka, aż po planowanie i wdrażanie działań prewencyjnych lub naprawczych (Rysunek 11) w tym:

- ustalenie kontekstu (m.in. zakres prac i cele; identyfikacja interesariuszy, warunków środowiskowych i technicznych);
- identyfikację czynników ryzyka/zagrożeń (chemicznych, biologicznych, czasowych jak obecność paliw i innych substancji, integralność konstrukcji, obecność amunicji i niewybuchów, czynników zewnętrznych);
- analizę ryzyka w celu oceny prawdopodobieństwa wystąpienia oraz zrozumienia potencjalnego wpływu (w odniesieniu do wrażliwości receptorów) za pomocą modeli wycieków czy analiz E-DBR, VRAKA, przy równoczesnej ocenie poziomu zaufania do analizy (zależnej od jakości i kompletności danych).



Rysunek 11. Schemat procesu zarządzania ryzykiem w odniesieniu do wraków (źródło: opracowanie własne)

Ta struktura zapewnia podstawę do podejmowania decyzji w warunkach niepewności, co jest kluczowe w przypadku wraków, gdzie dane mogą być ograniczone.

W przypadku wraku T/S Franken wcześniejsze analizy przeprowadzone m.in. przez Fundację MARE oraz krajowe instytucje naukowe wskazały jednoznacznie, że jest to wrak wysokiego ryzyka, w którym nadal mogą zalegać znaczne ilości paliwa. Niniejszy rozdział nie powtarza pełnej oceny klasyfikacyjnej wraku, lecz:

- syntetyzuje dotychczasowe wyniki analiz;
- przedstawia stosowane metody oceny ryzyka (H-DBA, E-DBA, VRAKA);
- opisuje ramy normatywne wykorzystywane przy ocenie ryzyka;
- prezentuje metodykę przygotowania scenariuszy emisji i modelowania rozlewów, która będzie zastosowana przy aktualizacji oceny ryzyka na podstawie nowych danych terenowych.

5.1.1 Ocena ryzyka zalegania paliwa we wraku T/S Franken – podsumowanie dotychczasowych analiz, wiedzy i zastosowane metody

Wrak T/S Franken został w ostatnich latach poddany szeregowi analiz eksperckich prowadzonych m.in. przez Fundację MARE oraz krajowe instytucje naukowe i administracyjne, również w ramach działań prowadzonych przez Komisję Helsińską. Na podstawie danych historycznych, literaturowych oraz badań *in situ* oceniano wstępnie zarówno stan techniczny jednostki, prawdopodobieństwo rozszczelnienia zbiorników paliwowych, jak i potencjalne skutki środowiskowe w przypadku emisji. Na podstawie tych opracowań wrak został jednoznacznie sklasyfikowany jako wrak **wysokiego ryzyka**, wymagający dalszych działań oceniających i przygotowawczych (Hac i Sarna 2021, raporty HELCOM).

Dotychczasowe analizy wykorzystywały podejście stosowane w ocenie ryzyka wraków w regionie Morza Bałtyckiego oraz w projektach międzynarodowych (m.in.: BRISK, CHEMSEA²³, DIAMOND). Obejmowały one następujące metody:

- H-DBA – analizę opartą na danych historycznych

Metoda ta obejmuje:

- rekonstrukcję historii jednostki i okoliczności zatopienia;
- identyfikację rodzaju i ilości paliwa znajdującego się na pokładzie;
- ocenę, czy mogła wystąpić wcześniejsza emisja;
- analizę zmian konstrukcji wraku i jego degradacji w czasie.

W przypadku wraku T/S Franken nie stwierdzono wcześniejszej masowej emisji paliwa (poza momentem zatopienia), co zwiększa prawdopodobieństwo zachowania części ładunku w zbiornikach paliwowych;

- E-DBA – analizę opartą na dokumentacji (*desk-based assessment*)

Metoda E-DBA została opracowana w Wielkiej Brytanii (Cefas) i jest dziś jedną z najbardziej rozpowszechnionych na świecie technik oceny ryzyka związanego z wrakami. Jej zaletą jest prostota i możliwość zastosowania w warunkach, gdy nie dysponujemy pełnym zestawem danych terenowych. Obejmuje ona:

- analizę stanu konstrukcji i możliwych dróg emisji;
- ocenę głębokości i warunków hydrodynamicznych;
- analizę potencjalnych receptorów wrażliwych;
- analizę konsekwencji środowiskowych i społeczno-gospodarczych;
- wstępne modelowanie trajektorii zanieczyszczeń.

W przypadku wraku T/S Franken dotychczas wykonane analizy E-DBA wykazały **istotne ryzyko emisji w perspektywie wieloletniej** oraz wysoką wrażliwość receptorów;

- VRAKA – analizę probabilistyczną

²³ Projekt CHEMSEA - *Chemical Munitions, Search and Assessment*, finansowany w ramach INTERREG BSR Programme 2007-2013

Metoda VRAKA została opracowana przez Chalmers University of Technology i jest metodą probabilistyczną, dostosowaną do specyfiki Morza Bałtyckiego i Północnego. Metoda VRAKA, stosowana szeroko w krajach skandynawskich do oceny ryzyka wraków o znacznym potencjale zagrożenia, składa się z dwóch modułów: pierwszy służy do oszacowania prawdopodobieństwa uwolnienia substancji niebezpiecznych, a drugi – do oceny ich potencjalnego wpływu. Metoda dostarcza rozkładów probabilistycznych i oczekiwanych objętości zanieczyszczeń, choć nie obejmuje zintegrowanych narzędzi do pełnej oceny ryzyka. VRAKA lepiej niż metoda E-DBA radzi sobie z niepewnością i pozwala uwzględniać efekty długoterminowe. Jej ograniczeniem jest natomiast większa złożoność, mniejszy stopień standaryzacji oraz wysokie wymagania dotyczące dostępności danych i wiedzy eksperckiej, co może ograniczać jej praktyczne zastosowanie.

Dotychczas wykonane analizy dotyczące samego wraku, jak i ogólnie zagrożenia zanieczyszczeniem od strony rozlewów olejowych (np. projekt BRISK²⁴ czy raport MARE (Hac i Sarna 2021)), opisują również wrażliwość środowiskową i głównych odbiorców zanieczyszczeń.

Są to przede wszystkim wrażliwe ekologicznie receptory morskie:

- przybrzeżne i morskie obszary chronione;
- skupiska o charakterze siedliskotwórczym (zespoły fito- i zoobentosu);
- awifauna;
- ichtiofauna – szczególnie obszary cenne dla tarlisk i przeżycia form młodocianych;
- ssaki morskie;

jak również wrażliwe społeczno-ekonomiczne receptory morskie, do których należą przede wszystkim:

- infrastruktura przemysłowa (porty, przystanie, instalacje wydobywcze, energetyczne, ujęcia wody dla przemysłu, np. elektrowni jądrowych, akwakultura, porty);
- turystyka nadmorska;
- rybołówstwo;
- żegluga.

Pełny opis wpływu zagrożenia na środowisko został opisany w podrozdziale *Wpływ na środowisko*.

5.1.2 Wstęp do ponownej oceny ryzyka emisji zanieczyszczenia z wraku T/S Franken

Koncepcja ponownej oceny ryzyka emisji zanieczyszczenia z wraku oparta jest na drzewie zdarzeń (błędów) prezentowanym na rysunku (Rysunek 12).

²⁴ Projekt BRISK - *Sub-regional risk of spill of oil and hazardous substances in the Baltic Sea*, finansowany w ramach BSR Programme 2007-2013, <https://helcom.fi/helcom-at-work/projects/brisk/>

WRAK						
Czynniki zagrożenia	Obecność oleju	Obecność UXO	Obecność CW, CWA			
Parametry zagrożenia	Ilość oleju	Parametry fizyczne oleju	Toksyczność oleju	Ryzyko UXO	Ryzyko CW, CWA	
Parametry środowiska	Olej i składniki odżywcze (azot, fosfor)	Zawartość tlenu	pH, zasolenie	Olej i składniki odżywcze (azot, fosfor)	Siedlisko	Wartość historyczna
Czynniki antropogeniczne	Prace hydrotechniczne w otoczeniu	Ruch statków w akwenie	Trałowanie	Nurkowanie	Działania militarne	
Morfologia	Ukształtowanie dna morskiego	Tekstura dna morskiego	Zawiesina	Stabilność dna morskiego		
Dynamika morza i atmosfery	Prądy	Pływy	Falowanie	Ekstremalne warunki pogodowe		
Dynamika osadów	Ruch gruntu (erozja, depozycja)	Transport osadu	Transport zawiesiny	Trzęsienia ziemi, osuwiska gruntu		
Procesy statyczne	Położenie pierwotne	Zmiana położenia	Ciśnienie hydrostatyczne			
Procesy dynamiczne	Korozja powierzchniowa	Korozja wżerowa	Korozja mikrobiologiczna	Zmęczenie materiału		
Naprężenia	Naprężenia i odkształcenia pierwotne	Zmiana obciążeń	Zmiana naprężeń i odkształceń	Zmęczenie materiału		
Awarie	Poszycie	Przegroda	Poszycie zbiornika	Rurociąg	Rozszczelnienie zbiornika	Uszkodzenie całkowite zbiornika
Emisja	Bezpośrednia ostra	Bezpośrednia chroniczna	Pośrednia	Wtórna		
Parametry emisji	Olej lżejszy od wody	Olej cięższy od wody				

Rysunek 12. Drzewo zdarzeń (błędów) dla oceny ryzyka emisji oleju z wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne)

Jak widać z przedstawionego powyżej schematu, warunkiem pierwotnym jest obecność substancji olejowych we wraku. Na obecną chwilę nie ma jednoznacznie potwierdzonej informacji, że w zbiornikach wraku znajdują się paliwa. Nawet fakt zaobserwowanych wcześniej uwolnień zanieczyszczenia nie oznacza, że ono się jeszcze znajduje wewnątrz wraku. Zapewne zatopiony

zbiornikowiec naturalnie może kojarzyć się z zanieczyszczeniami olejami, ale należy pamiętać o przyczynach zatopienia T/S Franken (eksplozja, pożary, przełamanie okrętu) oraz wziąć pod uwagę, że od zatonięcia upłynęło już ponad 80 lat.

Ocenę desktopową obecności oleju we wraku na podstawie danych historycznych (H-DBA) należy jednak traktować bardzo ostrożnie.

Studium przypadku – E-DBA dla RFA War Mehtar

Ocena środowiskowa (E-DBA) wraku okrętu wojennego RFA²⁵ War Mehtar (zalegający na głębokości około 39 m, 15 mil morskich na wschód od Great Yarmouth w Wielkiej Brytanii) składała się z trzech części: (1) oceny prawdopodobieństwa wycieku ropy z wraku; (2) modelowania wycieków ropy w celu przewidzenia zasięgu przestrzennego potencjalnych wycieków; oraz (3) oceny ryzyka opartej na nakładaniu się wyników modelu wycieków ropy z ekologiczną i społeczno-ekonomiczną wrażliwością danego obszaru.

Modelowano przewlekły (powolny, ciągły) i dwa ostre (duża objętość uwolniona w ciągu 24 godzin) scenariusze wycieku ropy za pomocą pakietu Marine Environmental Modelling Workbench (MEMW). Przewlekły wyciek (50 kg/dzień) modelowano za pomocą modelu oceny ryzyka i skutków związanych z dawką (DREAM). Wzięto pod uwagę scenariusze najgorszego przypadku (całkowita objętość ropy: 7000 ton) i najbardziej prawdopodobnego przypadku (jeden zbiornik: 1000 ton). Symulację potencjalnych sytuacji awaryjnych i rozprzestrzeniania się wycieków ropy przeprowadzono przy użyciu modelu OSCAR²⁶. Model został skonfigurowany i wymuszony meteorologicznie. RFA War Mehtar przewoził Admiralty Fuel Oil, co było wówczas ogólną nazwą paliwa ciężkiego, i obejmował szereg olejów o różnych (generycznie nieznanymi) właściwościach chemicznych i fizycznych. Nowoczesny olej opałowy IF-30 został użyty jako substytut oleju opałowego Admiralty w modelu wycieku ropy.

W wyniku analiz E-DBA wrak RFA War Mehtar został uznany za niebezpieczny, co skutkowało przeprowadzeniem kolejnych badań, przede wszystkim związanych z obecnością oleju, ale również integralności wraku.

W celu oszacowania ilości paliwa wybrano technikę nieinwazyjnego rozpraszania neutronów zamiast bardziej tradycyjnej metody wiercenia zbiorników z powodu obaw, że ciśnienie wiercenia mogło spowodować niekontrolowane uwolnienie ropy z wraku. Obszary kadłuba w predefiniowanych lokalizacjach zostały oczyszczone, następnie przyłożono sondę rozpraszania neutronów (za pomocą ROV), aby zmierzyć liczbę neutronów odbitych od atomów wodoru w każdym zbiorniku²⁷. Pomiar wykonany w zbiornikach, o których wiadomo było, że są uszkodzone, a zatem zawierają wodę morską, posłużył jako kontrola do kalibracji przyrządu i porównania z pomiarami z pozornie nienaruszonych zbiorników (odczyty kalibracyjne wykazały poziom promieniowania w zakresie od 40 000 do 45 000 zliczeń/3 s). Założono, że zbiornik zawierający olej da odczyt około 47 200 do 53 100 zliczeń/3 s. Odczyty wykonane dla pozostałych zbiorników nie wskazywały na obecność węglowodorów, a zatem nie było śladów węglowodorów w żadnym ze zbiorników.

²⁵ Royal Fleet Auxiliary

²⁶ OSCAR umożliwia budowanie składu oleju z poszczególnych komponentów.

²⁷ Wyższy poziom odbicia neutronów wskazuje na większą zawartość wodoru w badanej cieczy, dlatego oczekiwano, że węglowodory będą odbijać więcej neutronów niż woda morska.

Obecność paliwa we wraku T/S Franken (ponowne H-DBA)

Ocenę desktopową obecności paliwa we wraku T/S Franken przeprowadzono na podstawie dostępnych na dzień opracowania PNZ danych historycznych oraz szacunkowej oceny uszkodzeń, które doprowadziły do zatonięcia. Dane przedstawione są w tabeli i zostały uaktualnione o wyniki Badań 2025-26 (Tabela 34).

Tabela 34. Kalkulacja H-DBA olejów T/S Franken (źródło: opracowanie własne)

Kalkulacja paliw (ładunek + bunkier)	Zbiorniki		Raport 01.04.1945			Badania 2025-26*		
	ładunek	Paliwo	Olej łącznie	ładunek	Paliwo	Oleje łącznie	ładunek	Paliwo
Statek pełny - % maksymalnej ładowności	80%	70%	X	80%	70%	X	X	X
Statek prawie pusty - % maksymalnej pojemności	20%	20%	X	20%	20%	X	X	X
Pojemność zbiorników (ilość paliwa w zbiornikach)	10780	1704	X	3000	1704	X	X	X
Pojemność zbiorników przy założeniu, że zbiorniki w przedziałach X i XI zostały całkowicie zniszczone na skutek bombardowania i eksplozji	6890	1704	4704	3000	1704	X	X	X
Ilość oleju szacowana na podstawie dostępnych informacji	X	X	X	X	X	X	2700	300
Statek pełny - % maksymalnej ładowności	5512	1193	3593	2400	1193	X	X	X
Statek prawie pusty - % maksymalnej pojemności	1378	341	941	600	341	X	X	X
Straty maksymalne (pożary, zatonięcie) 80% (statek pełny)	4410	954	2874	1920	954	X	X	X
Straty minimalne (pożary zatonięcie) 40% (statek pełny)	2205	239	1199	960	239	X	X	X
Straty maksymalne (pożary, zatonięcie) 80% (statek prawie pusty)	1102	273	753	480	273	X	X	X
Straty minimalne (pożary, zatonięcie) 40% (statek prawie pusty)	551	68	308	240	68	X	X	X
Ilość oleju pomniejszona o straty - max (statek pełny)	1102	750	1230	480	750	X	X	X
Ilość oleju pomniejszona o straty - min (statek pełny)	3307	954	2394	1440	954	X	X	X
Ilość oleju pomniejszona o straty - max (statek prawie pusty)	276	68	188	120	68	X	X	X
Ilość oleju pomniejszona o straty - min (statek prawie pusty)	827	273	633	360	273	X	X	X
Ilość oleju średnio	1378	511	1111	600	511	X	X	X
Ilość oleju szacowana na podstawie badań Waves Group*	X	X	X	X	X	891	180	b.d.
Chroniczna emisja oleju z wraku	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	brak**	brak	brak
Ostra emisja oleju z wraku	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	brak**	brak	brak

* Raport z Badań 2025-26 przedstawia szacunkowe ilości oleju łącznie oraz szacunki paliwa bunkrowego

** W trakcie badań prowadzonych w okresie 28.11 - 4.12.2025 nie stwierdzono emisji oleju do wody

Na podstawie danych zawartych w tabeli (Tabela 34) na potrzeby ponownej oceny ryzyka przyjęto scenariusze referencyjne:

- scenariusz najbardziej prawdopodobny – rozlew podpowierzchniowy na głębokości 66 m dla 300 m³ lekkiego oleju (MGO);
- scenariusz najbardziej pesymistyczny – rozlew podpowierzchniowy na głębokości 66 m dla 500 m³ ciężkiego paliwa (HFO).

które zostały zweryfikowane i doprecyzowane w Części II w oparciu o wyniki Badań 2025-26.

Scenariusze nie obejmują emisji oleju cięższego od wody, ponieważ żaden z dostępnych modeli symulacyjnych nie umożliwia prognozowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia na dnie morza.

Fakt, że w zbiornikach wraku T/S Franken mogą znajdować się oleje cięższe od wody, należy poważnie brać pod uwagę w kategoriach oceny ryzyka z uwagi na:

- posiadane informacje dotyczące paliw i ich komponentów używanych przez flotę niemiecką w II wojnie światowej – wiadomo, że część paliw i komponentów była cięższa od wody;
- przypuszczenie, że T/S Franken przewoził nie tylko gotowe paliwa, ale posiadał możliwości techniczne (duża liczba zbiorników ze zdolnością podgrzewania) do sporządzania mieszanek paliwowych z pozyskiwanych komponentów.

W ostatecznej ocenie ryzyka należy wziąć pod uwagę następujące aspekty:

- ograniczenia wiedzy na temat ilości, rzeczywistego składu chemicznego paliw i ich właściwości fizycznych;
- brak wiedzy na temat procesów starzenia się olejów. W zasadzie w przypadku możliwości pobrania próbek olejów będzie możliwa analiza składu chemicznego produktu końcowego starzenia się poszczególnych olejów. Dlatego słuszne wydaje się określenie tego typu paliw zaproponowane przez SINTEF jako WAF (*water-associated fraction*);
- ograniczenia przyjętych do wykorzystania modeli symulacyjnych.

5.1.2.1 Modelowanie emisji zanieczyszczenia

Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano dwie różne aplikacje, biorąc pod uwagę przede wszystkim ich dostępność. Powszechnie stosowane w Europie i na świecie model DREAM i OSCAR są komercyjnymi systemami oferowanymi przez SINTEF i z uwagi na ograniczenia czasowe i budżetowe wybrano inne rozwiązanie.

Obydwa ww. modele poddano ocenie i porównaniu z połączonymi modelami STW + BRISK z następującymi wnioskami:

- model DREAM umożliwia ocenę oddziaływania na środowisko dla emisji przewlekłych, lecz dokładność wyników modelowania zależna jest od wiedzy na temat strumienia i ładunku zanieczyszczenia. W przypadku T/S Franken dokładne dane te są niemożliwe do uzyskania;
- model OSCAR jest zdecydowanie najlepszą na świecie aplikacją symulacyjną. Należy jednak wziąć pod uwagę, że podobnie jak w przypadku DREAM wynik będzie zależny od informacji wsadowej (np. nazwa oleju, jego skład itp.) W przypadku wraku T/S Franken, na obecnym etapie realizacji projektu (brak wiedzy o obecności i składzie oleju) jest to niemożliwe.

Uznano zatem, że na potrzeby niniejszej oceny ryzyka wykorzystanie połączonych modeli (STW + BRISK) będzie wystarczające.

5.1.2.1.1 Seatrack Web (STW)

System Seatrack Web składa się z trzech głównych części: wsparcie w postaci prognozowanych kierunków prądów i wiatru, modelu dryfu i rozprzestrzeniania się ropy naftowej i graficznego interfejsu użytkownika. Model dryfu ropy naftowej PADM został opracowany wspólnie przez Szwedzki Instytut Meteorologiczny i Hydrologiczny (SMHI) i Duńską Administrację Bezpieczeństwa Morskiego (DAMSA). Jest on wykonywany zawsze, gdy użytkownik Seatrack Web żąda symulacji. Graficzny interfejs użytkownika został opracowany w SMHI i opiera się na technologii serwera GIS typu open source.

Obszar objęty systemem Seatrack Web HELCOM obejmuje Morze Bałtyckie, cieśniny między Szwecją a Danią, Kattegat i Skagerrak oraz Morze Północne do około 3° długości geograficznej wschodniej.

Dane dla Seatrack Web HELCOM są obecnie dostarczane przez model pogodowy HIRLAM i model oceaniczny HIROMB. Są one prowadzone operacyjnie i stanowią podstawę prognoz pogody i oceanów w SMHI. W przypadku dłuższych prognoz wymuszających pola z Europejskiego Centrum Prognoz Średnioterminowych zastępuje się te z HIRLAM.

Typy prognoz

Na podstawie informacji pozyskanych z instrukcji użytkowania STW:

1. możliwe jest prognozowanie oraz wykonywanie tzw. kalkulacji wstecznej dryfu, tzn. znając położenie np. znalezionego zanieczyszczenia czy też obiektu, można określić umiejscowienie geograficzne jego źródła;
2. lokalizacja zanieczyszczenia może być przedstawiona jako punkt, linia lub obszar wskazane przy pomocy współrzędnych geograficznych albo bezpośrednio zaznaczana na mapie;
3. w modelu uwzględniono dwa podstawowe sposoby emisji zanieczyszczenia:
 - emisja natychmiastowa polegająca na jednorazowym rozlewie określonej w jednostkach masy lub objętości substancji olejowej;
 - emisja ciągła, dla której zakłada się rozlew określonej ilości substancji olejowej w oznaczonym przedziale czasu;
4. symulacja dla emisji ciągłej umożliwia określenie głębokości, na jakiej znajduje się źródło zanieczyszczenia, np. statek, z którego wycieka olej, tzn. coraz więcej oleju wycieka do wody. W takim przypadku należy określić głębokość i lokalizację wylotu, który w przypadku zatopionego statku (wraku) może znajdować się na dnie morskim;
5. teoretycznie STW jest w stanie umożliwić prognozę do 120 godzin. W praktyce możliwe są analizy w zakresie 84–108 godzin. Kalkulacje mogą być wykonywane na trzech poziomach szczegółowości.

Symulacje STW

Na potrzeby PNZ w okresie od 25.09.2025 do 10.11.2025 r. wykonano 40 przebiegów symulacyjnych dla określonych wcześniej warunków zakładanych w analizie ryzyka parametrów emisji, tj. 300 m³ oleju

lekkiego (MGO) i 500 m³ paliwa ciężkiego (HFO). W celu wykorzystania możliwości STW w zakresie bazy substancji olejowych wstępnie użyto:

- dla olejów typu MGO – LIGHT DIESEL FUEL, Light oils (0–100 cSt), MARINE DIESEL (IKU);
- dla olejów typu HFO – BUNKER C, Heavy oils (> 1000 cSt), IF-380 HEAVY FUEL OIL;
- dla olejów HFO (tonący) – HIGH VISCOSITY FUEL OIL (TEST) (gęstość 1015 kg/m³).

W tabeli (Tabela 35) przedstawiono zestawienie przeprowadzonych symulacji. W tabeli kolorem żółtym zostały podświetlone symulacje, które były niezbędne do zbadania wpływu na symulację parametrów różnych (patrz akapit powyżej) olejów bądź sposobu emisji (emisja natychmiastowa – zmienna w czasie lub emisja powierzchniowa – podpowierzchniowa). Do dalszych analiz przyjęto 24 symulacje – niepodświetlone w tabeli (Tabela 35).

Tabela 35. Parametry symulacji STW emisji zanieczyszczenia olejem dla wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne)

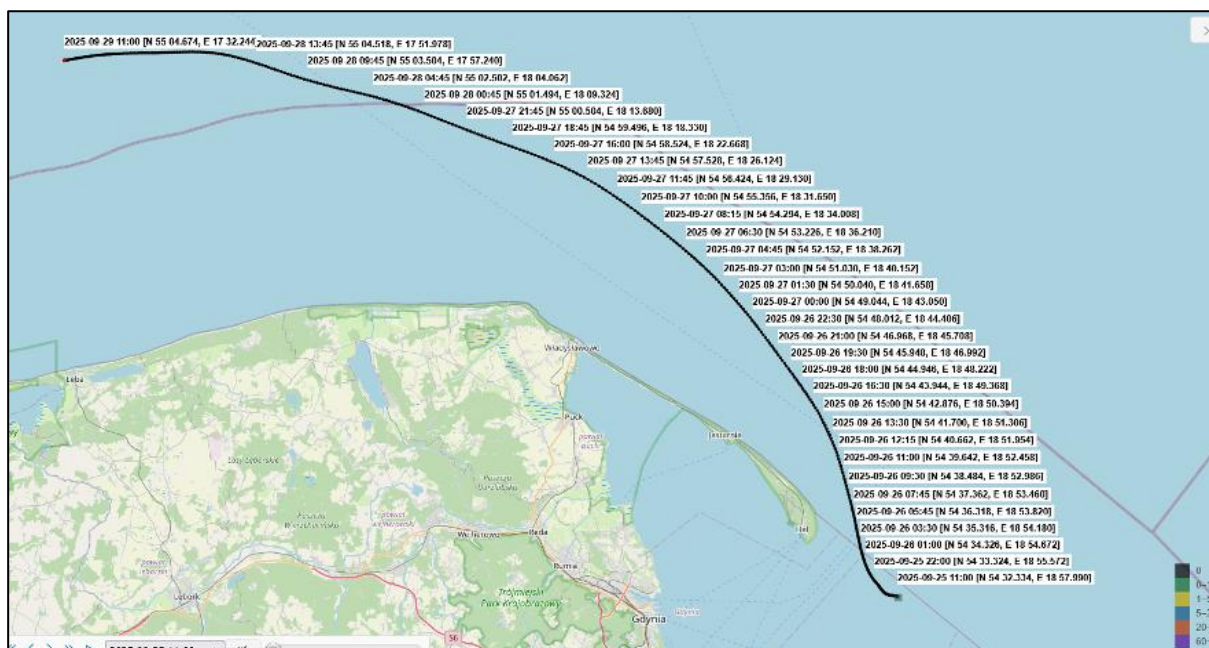
ID	Typ prognozy – rozlew	Początek prognozy	Koniec prognozy	Długość prognozy [h]	Głębokość	Ilość oleju [m³]	Nazwa oleju	Stan oleju	Długość ścieżki [km]
STW001	Zmienny w czasie	25.09.2025 08:00	28.09.2025 20:00	84	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	b.d.
STW002	Zmienny w czasie	25.09.2025 11:00	29.09.2025 11:00	96	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	120,0
STW003	Natychmiastowy	27.09.2025 04:00	30.09.2025 16:00	84	0 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Nieświeży	b.d.
STW004	Zmienny w czasie	27.09.2025 04:00	30.09.2025 16:00	84	66 m	500	BUNKER C	Świeży	b.d.
STW005	Zmienny w czasie	27.09.2025 05:00	30.09.2025 17:00	84	66 m	500	BUNKER C	Świeży	120,4
STW006	Zmienny w czasie	27.09.2025 05:00	30.09.2025 17:00	84	66 m	500	HIGH VISCOSITY FUEL OIL (TEST)	Świeży	b.d.
STW007	Zmienny w czasie	27.09.2025 08:00	30.09.2025 20:00	84	66 m	300	MARINE DIESEL (IKU)	Świeży	120,7
STW008	Zmienny w czasie	27.09.2025 09:00	30.09.2025 21:00	84	66 m	500	IF-380 HEAVY FUEL OIL	Świeży	122,4
STW009	Zmienny w czasie	28.09.2025 06:00	1.10.2025 18:00	84	66 m	300	Light oils (0-100 cSt)	Świeży	111,6
STW010	Natychmiastowy	28.09.2025 06:00	1.10.2025 18:00	84	0 m	300	Light oils (0-100 cSt)	Świeży	b.d.
STW011	Natychmiastowy	28.09.2025 06:00	1.10.2025 18:00	84	0 m	500	Heavy oils (>1000 cSt)	Świeży	b.d.
STW012	Zmienny w czasie	28.09.2025 04:00	1.10.2025 16:00	84	66 m	500	Heavy oils (>1000 cSt)	Świeży	112,0
STW013	Zmienny w czasie	2.10.2025 06:00	5.10.2025 18:00	84	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	86,1
STW014	Zmienny w czasie	2.10.2025 04:00	5.10.2025 16:00	84	66 m	500	Heavy oils (>1000 cSt)	Świeży	b.d.
STW015	Zmienny w czasie	2.10.2025 04:00	5.10.2025 16:00	84	66 m	500	BUNKER C	Świeży	101,4
STW016	Zmienny w czasie	5.10.2025 09:00	8.10.2025 21:00	84	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	55,9
STW017	Zmienny w czasie	5.10.2025 09:00	9.10.2025 21:00	108	66 m	500	BUNKER C	Świeży	89,8
STW018	Zmienny w czasie	5.10.2025 10:00	9.10.2025 22:00	108	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	67,0
STW019	Zmienny w czasie	8.10.2025 09:00	11.10.2025 21:00	84	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	39,2
STW020	Zmienny w czasie	8.10.2025 09:00	11.10.2025 21:00	84	66 m	500	BUNKER C	Świeży	65,1
STW021	Zmienny w czasie	9.10.2025 14:00	13.10.2025 14:00	96	66 m	300	Light oils (0-100 cSt)	Świeży	45,6
STW022	Zmienny w czasie	9.10.2025 15:00	13.10.2025 15:00	96	66 m	500	IF-380 HEAVY FUEL OIL	Świeży	89,3
STW023	Zmienny w czasie	12.10.2025 08:00	15.10.2025 20:00	84	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	36,9

ID	Typ prognozy – rozlew	Początek prognozy	Koniec prognozy	Długość prognozy [h]	Głębokość	Ilość oleju [m ³]	Nazwa oleju	Stan oleju	Długość ścieżki [km]
STW024	Zmienny w czasie	12.10.2025 08:00	15.10.2025 20:00	84	66 m	500	BUNKER C	Świeży	66,3
STW025	Zmienny w czasie	14.10.2025 20:00	18.10.2025 20:00	96	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	25,0
STW026	Zmienny w czasie	14.10.2025 20:00	18.10.2025 20:00	96	66 m	500	BUNKER C	Świeży	70,9
STW027	Zmienny w czasie	16.10.2025 11:00	20.10.2025 11:00	96	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	34,8
STW028	Zmienny w czasie	16.10.2025 11:00	20.10.2025 11:00	96	66 m	500	BUNKER C	Świeży	48,3
STW029	Zmienny w czasie	19.10.2025 18:00	23.10.2025 18:00	96	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	37,9
STW030	Zmienny w czasie	19.10.2025 18:00	23.10.2025 18:00	96	66 m	500	BUNKER C	Świeży	67,5
STW031	Zmienny w czasie	30.10.2025 06:00	2.11.2025 18:00	84	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	56,9
STW032	Zmienny w czasie	30.10.2025 06:00	2.11.2025 18:00	84	66 m	500	BUNKER C	Świeży	87,8
STW033	Zmienny w czasie	31.10.2025 06:00	3.11.2025 18:00	84	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	44,9
STW034	Natychmiastowy	31.10.2025 06:00	3.11.2025 18:00	84	0 m	500	BUNKER C	Świeży	50,7
STW035	Zmienny w czasie	31.10.2025 06:00	3.11.2025 18:00	84	66 m	500	BUNKER C	Świeży	50,1
STW036	Zmienny w czasie	2.11.2025 08:00	5.11.2025 20:00	84	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	21,0
STW037	Natychmiastowy	2.11.2025 08:00	5.11.2025 20:00	84	0 m	500	BUNKER C	Świeży	27,1
STW038	Zmienny w czasie	2.11.2025 08:00	5.11.2025 20:00	84	66 m	500	BUNKER C	Świeży	26,5
STW039	Zmienny w czasie	7.11.2025 06:00	10.11.2025 18:00	84	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	36,6
STW040	Zmienny w czasie	7.11.2025 06:00	10.11.2025 18:00	84	66 m	500	BUNKER C	Świeży	38,0
STW041	Zmienny w czasie	14.11.2025 10:00	18.11.2025 22:00	108	66 m	500	HIGH VISCOSITY FUEL OIL (TEST)	Świeży	0,123
STW042	Zmienny w czasie	21.11.2025 08:00	24.11.2025 20:00	84	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	67,0
STW043	Zmienny w czasie	21.11.2025 08:00	24.11.2025 20:00	84	66 m	500	BUNKER C	Świeży	88,5
STW044	Zmienny w czasie	21.11.2025 08:00	24.11.2025 20:00	84	66 m	500	HIGH VISCOSITY FUEL OIL (TEST)	Świeży	0,167
STW045	Zmienny w czasie	28.11.2025 10:00	2.12.2025 22:00	108	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	37,4
STW046	Zmienny w czasie	28.11.2025 10:00	2.12.2025 22:00	108	66 m	500	BUNKER C	Świeży	70,2
STW047	Zmienny w czasie	28.11.2025 10:00	2.12.2025 22:00	108	66 m	500	HIGH VISCOSITY FUEL OIL (TEST)	Świeży	0,133

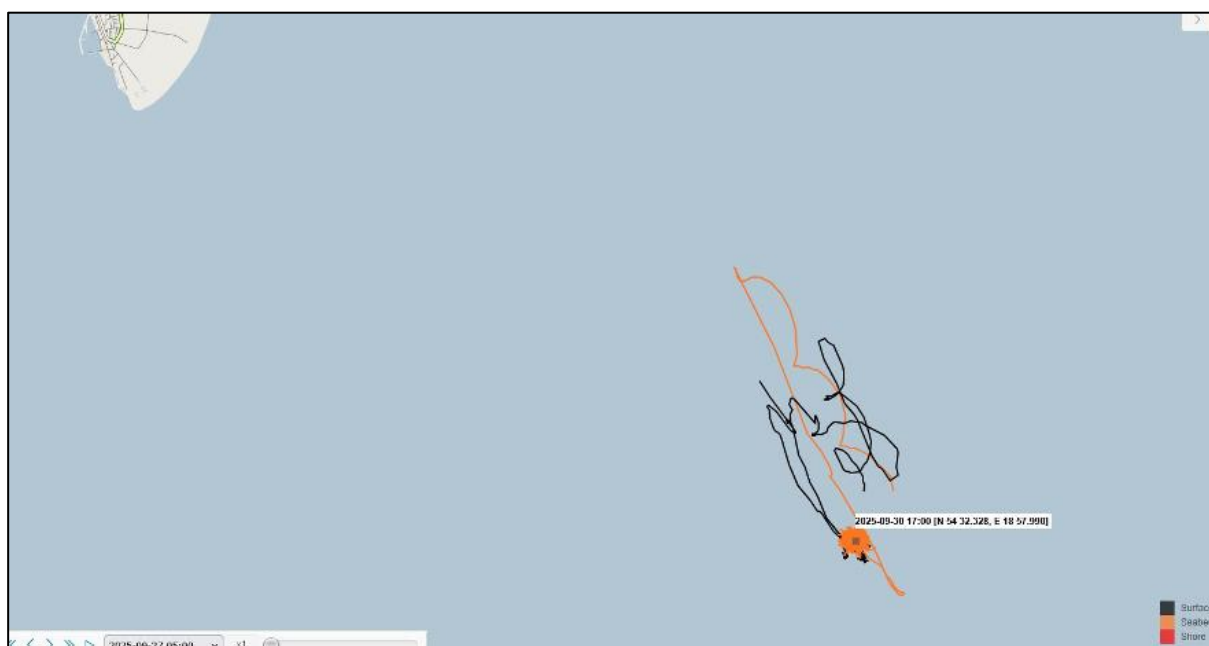
ID	Typ prognozy – rozlew	Początek prognozy	Koniec prognozy	Długość prognozy [h]	Głębokość	Ilość oleju [m ³]	Nazwa oleju	Stan oleju	Długość ścieżki [km]
STW048	Zmienny w czasie	30.12.2025 11:00	3.01.2026 11:00	96	66 m	300	LIGHT DIESEL FUEL	Świeży	52,7
STW049	Zmienny w czasie	30.12.2025 12:00	3.01.2026 12:00	96	66 m	500	BUNKER C	Świeży	121,6
STW050	Zmienny w czasie	30.12.2025 12:00	3.01.2026 12:00	96	66 m	500	HIGH VISCOSITY FUEL OIL (TEST)	Świeży	0,271

Produktem symulacji są:

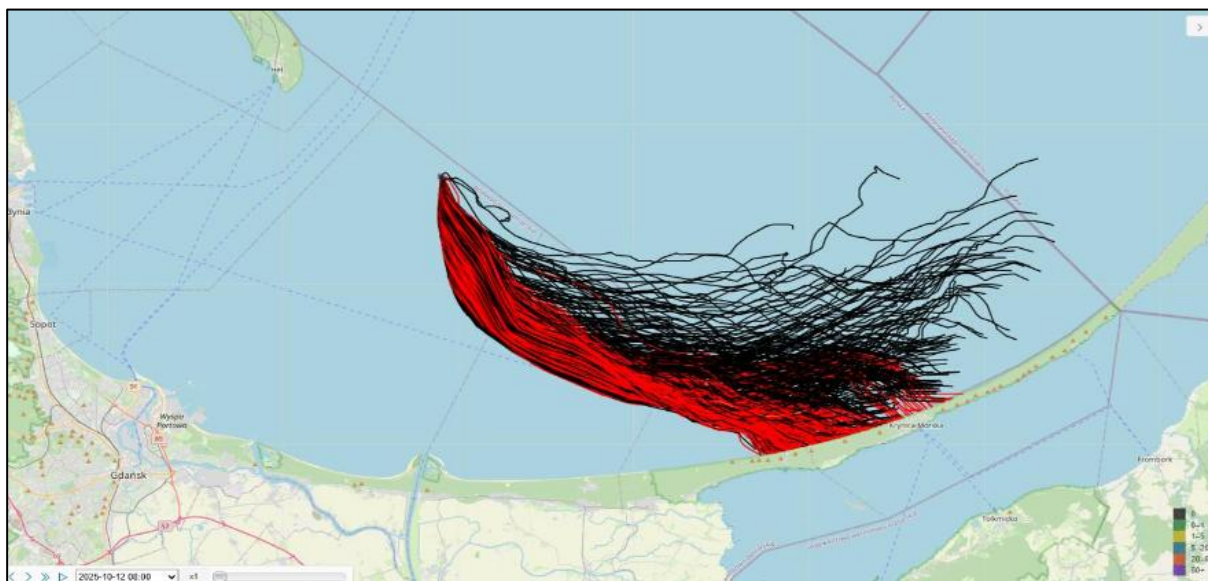
- rysunki trajektorii środka plamy zanieczyszczenia lub orientacyjnej plamy na mapie. Widok plamy jest w kolorze czarnym, a w przypadku wyrzucenia oleju na brzeg zmienia się na czerwony – przykłady na rysunkach (Rysunek 13 – Rysunek 16);
- tabela parametrów obejmująca datę, czas co 15 minut, współrzędne geograficzne środka plamy, skalkulowane prędkości i kierunki wiatru i prądu, objętość oleju, lepkość, gęstość, stopień odparowania, pozostałości na powierzchni, na brzegu morskim i na dnie, dyspersję oraz zawartość wody (emulsja) – przykład poniżej na rysunku (Rysunek 13).



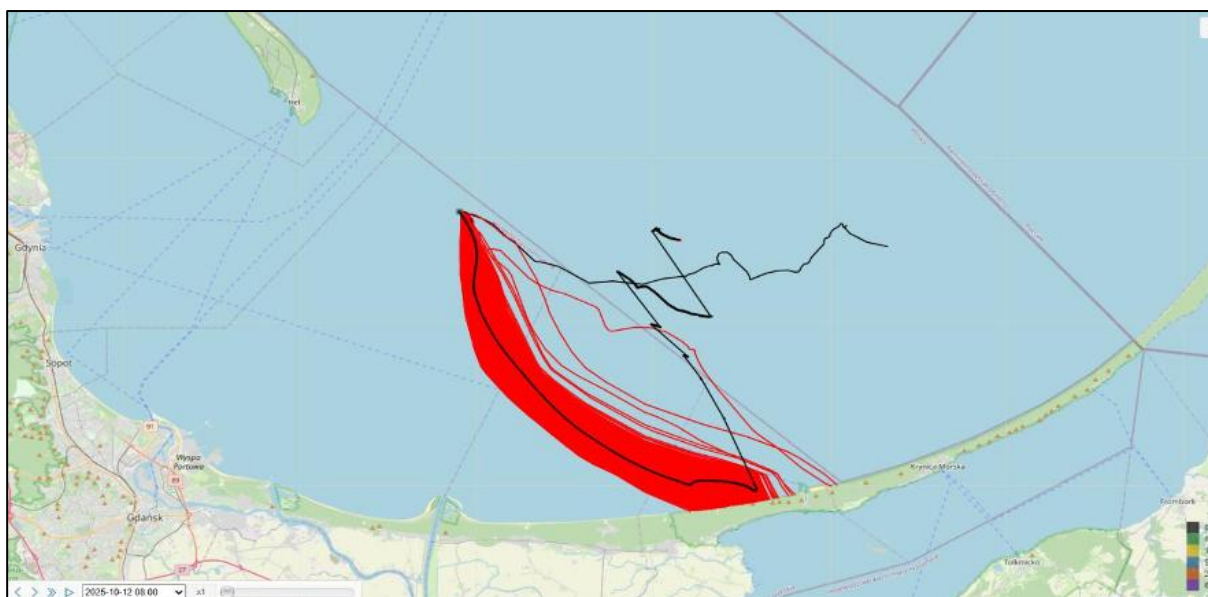
Rysunek 13. Przykładowa trajektoria ruchu środka plamy olejowej z datą i czasem lokalizacji poszczególnych punktów (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 14. Przykład symulacji oleju tonącego (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 15. Przykład symulacji plamy oleju lekkiego (LIGHT DIESEL FUEL) – olej dociera do brzegu (źródło: opracowanie własne)

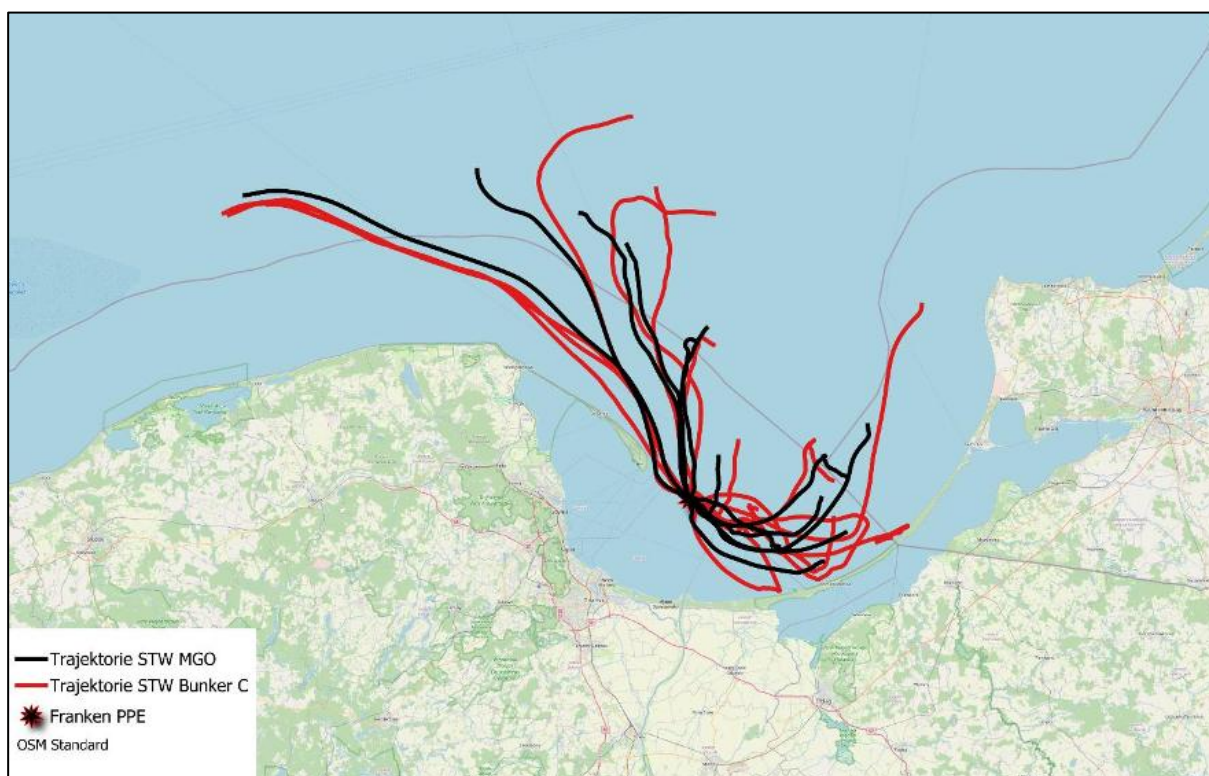


Rysunek 16. Przykład symulacji dla BUNKER C przeprowadzonej w tym samym czasie, co symulacja na rysunku (Rysunek 15) – olej dociera do brzegu (źródło: opracowanie własne)

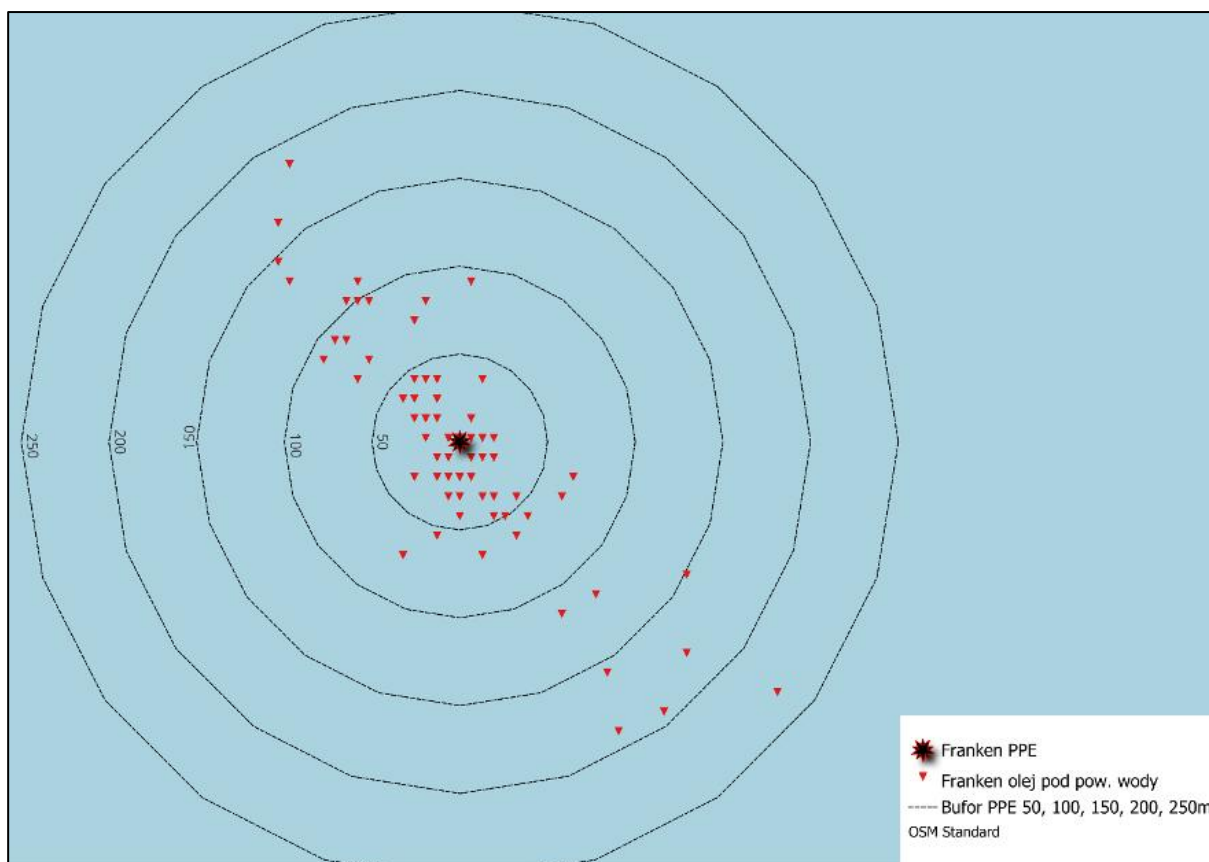
Tak przygotowane dane umożliwiają:

- wykonanie analiz zbiorczych – zestawienia trajektorii pokazujące zasięg oddziaływania zanieczyszczenia;
- orientacyjną ocenę (dryf oleju) zachowania się olejów pod wodą;
- sporządzenie bilansu oleju dla każdego pojedynczego przypadku;
- dostarczenie danych do oceny oddziaływania z wykorzystaniem modelu BRISK;
- archiwizację danych w celu ich wykorzystania do późniejszych analiz.

Zbiorcze zestawienie trajektorii dryfu substancji olejowych dla 24 przypadków zostało przedstawione na mapie (Rysunek 17).



Rysunek 17. Trajektorie dryfu zanieczyszczenia uzyskane przy pomocy symulacji STW (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 18. Obraz pokazujący punkty, w których olej z emisji podpowierzchniowej wypływa na powierzchnię wody (źródło: opracowanie własne)

Na podstawie danych, zakładając wyżej opisane scenariusze ustalono, że:

- maksymalny zasięg dryfu zanieczyszczenia wykazany jako środek plamy zanieczyszczenia wynosi 122,4 km, a minimalny 21 km, należy podkreślić, iż wynik ten jest zależny od warunków otoczenia - kierunki i prędkość wiatru i prądu;
- zasięgi dryfu oleju ciężkiego (Bunker C) w większości przypadków są znacznie (czasem dwukrotnie) większe niż dla oleju lekkiego;
- w przypadku emisji z głębokości 66 m olej pojawia się w czasie krótszym niż 30 min dla oleju lekkiego i krótszym niż 45 min dla oleju ciężkiego;
- miejsce pojawienia się olejów na powierzchni wody jest zależne od prędkości i zmienności kierunku prądów podpowierzchniowych, może być oddalone od punktu emisji (wrak) w odległości nieprzekraczającej 250 m, zazwyczaj jest to mniej niż 50 m, lecz mogą zdarzyć się sytuacje, które uniemożliwią identyfikację zanieczyszczenia z pokładu statku znajdującego się na pozycji wraku (Rysunek 18);
- ograniczenia czasowe zakresu modelowania (84–108 godzin) uniemożliwiają pełną ocenę oddziaływania. Ma to istotne znaczenie w przypadku oceny oddziaływania dla olejów ciężkich, dla których okres pełnej lub chociaż akceptowalnej degradacji może wynosić nawet kilka lat;
- poważnym ograniczeniem STW jest to, że w przypadku emisji podpowierzchniowej możliwe jest użycie do symulacji wyłącznie olejów świeżych. Oleje, które potencjalnie znajdują się w zbiornikach wraku T/S Franken, mają natomiast już ponad 80 lat.

Ocena modelu STW jako narzędzia prognozowania emisji oleju z wraku S/T Franken

Poniższa ocena przedstawiona została na podstawie kilkudziesięciu symulacji wykonanych na potrzeby PNZ, jak również wieloletniego doświadczenia w wykorzystywaniu narzędzia SeaTrackWeb.

STW jest narzędziem operacyjnym prognozowania emisji zanieczyszczenia olejem stosowanym powszechnie na obszarze Morza Bałtyckiego. Jego wiarygodność została potwierdzona w konfrontacji z rzeczywistymi incydentami zanieczyszczenia, dotyczy to jednak obszarów morza pełnego i prognozy emisji zanieczyszczenia na wodach zamkniętych i częściowo osłoniętych (np. Zatoka Gdańska) mogą być obarczone błędem. Fakt ten potwierdzają instytucje odpowiedzialne za prognozowanie w Danii i Finlandii, gdzie wykorzystuje się zlokalizowane, dostosowane do lokalnych warunków hydrometeorologicznych wersje STW. W Polsce wykorzystywany jest z ogólny, bałtycki model STW.

Wykorzystanie STW do symulacji emisji oleju spod powierzchni wody jest bardzo ograniczone. Mechanizm przemieszczania się zanieczyszczenia na powierzchnię wody jest bardzo uproszczony. Możliwe jest jedynie wprowadzenie parametru oleju oznaczonego jako świeży, a przecież trudno się spodziewać, aby taki znajdował się we wraku z II wojny światowej. Model nie w pełni odwzorowuje zachowanie olejów cięższych od wody. Wygląda to tak, jakby model wyprowadzał ten olej na powierzchnię wody i następnie go zatapiał.

Nie jest możliwe prognozowanie emisji chronicznej zanieczyszczenia w ilości poniżej 1 m³ oleju w czasie ograniczonym do 24 godz. Tak więc prognozowanie rozlewu w ilości kilku litrów na godzinę jest niemożliwe.

Podsumowując, STW nie jest właściwym narzędziem badawczym umożliwiającym pełną ocenę ryzyka emisji zanieczyszczenia olejem z wraku znajdującego się pod powierzchnią wody. Z całą pewnością może być wykorzystany jako narzędzie operacyjne w przypadku rzeczywistego incydentu. Pomimo ograniczeń modelu STW, jest to jedyna dostępna opcja.

5.1.2.2 Zastosowanie modelu LPT-IM2

Modelowane ryzyko wypadku przekształcono w funkcję źródła znormalizowaną o uśrednioną ilość wycieku dla dwóch typów olejów na wypadek (wyrażoną w g/h/km²) i zastosowano do silnika modelującego LPT-IM2 stworzonego w Instytucie Morskim Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. Wyniki modelowania i wnioski zostały wykorzystane do opisu konsekwencji scenariuszy rozlewów w rozdziale 6.4 Ponowna ocena ryzyka emisji zanieczyszczeń z wraku T/S Franken.

5.1.2.3 Reagowanie na zanieczyszczenie

Skuteczne i efektywne reagowanie na zanieczyszczenie może być jednym z ważnych elementów neutralizacji zagrożenia. Reagowanie na zanieczyszczenie jest elementem każdego planu zwalczania zagrożeń i zanieczyszczeń. W Polsce obowiązuje Krajowy Plan Zwalczania Zagrożeń i Środowiska Morskie (dalej: Krajowy Plan). Zgodnie z ustawą z dnia 16 marca 1995 r. *o zapobieganiu zanieczyszczeniu morza przez statki* (t.j. Dz.U. 2024 poz. 1786) za przygotowanie i realizację Krajowego Planu odpowiedzialny jest Dyrektor Morskiej Służby Poszukiwania i Ratownictwa (Służba SAR).

Krajowy Plan zawiera procedury działania i współpracy, w ramach których zespoły wyszkolonego personelu, wyposażone w odpowiedni sprzęt będą skutecznie przeciwdziałać zanieczyszczeniom morza.

Jest logicznie uzasadnione, aby zagrożenia wynikające z PPW zostały objęte Krajowym Planem, który obejmuje:

- Załącznik M. *Metody zwalczania zanieczyszczeń olejowych*;
- Załącznik N. *Zwalczanie zagrożeń i zanieczyszczeń powodowanych rozlewem olejów ciężkich*.

Krajowy Plan nie obejmuje metod zwalczania zanieczyszczeń olejami zatopionymi lub zanurzonymi. W pewnym zakresie część zagadnień związanych z tymi olejami, traktowana jako zanieczyszczenia chemiczne ujęta jest w Załączniku O – *Zasady zwalczania zagrożeń i zanieczyszczeń chemicznych*.

Krajowy Plan jest dokumentem operacyjnym ukierunkowanym na reagowanie na nagłe incydenty zanieczyszczeń zgodnie z zapisami Międzynarodowej konwencji o gotowości do zwalczania zanieczyszczeń morza olejami oraz współpracy w tym zakresie (Dz.U. 2004 nr 36 poz. 323) . Nie obejmuje on neutralizacji długotrwałych, historycznych źródeł zagrożeń, takich jak zalegające wraki czy materiały niebezpieczne zalegające na dnie.

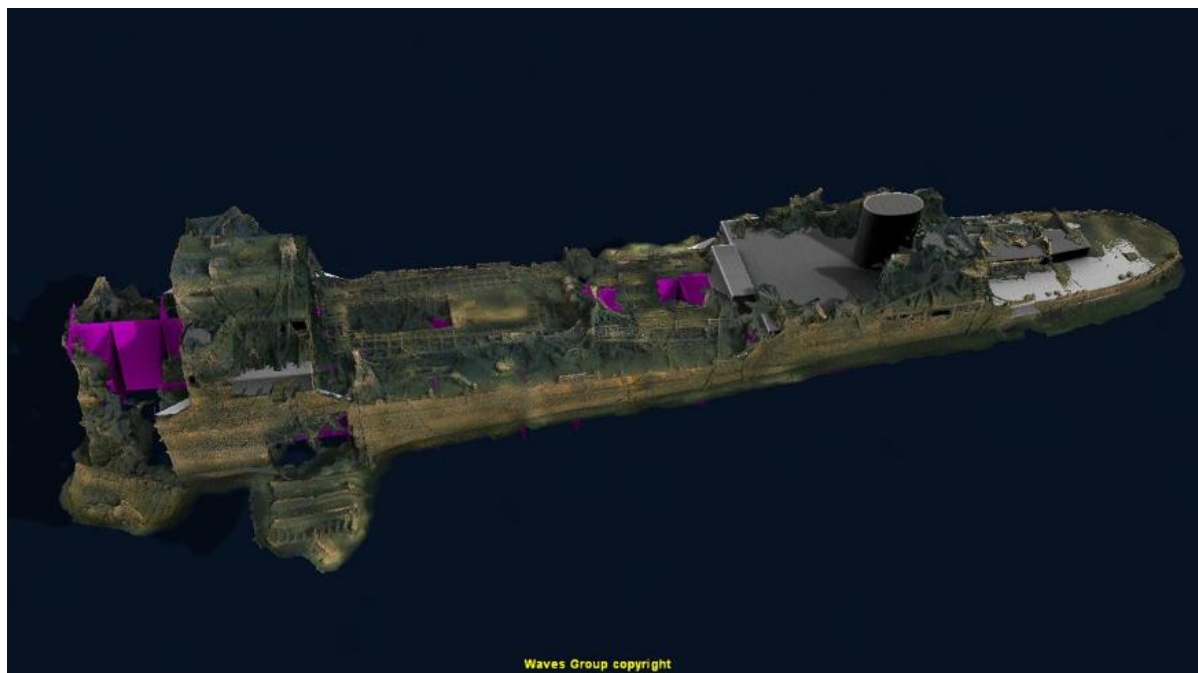
CZĘŚĆ II

6 WYNIKI BADAŃ – PODSUMOWANIE I REKOMENDOWANA STRATEGIA POSTĘPOWANIA

6.1 Stan techniczny wraku T/S Franken

Badania fotogrametryczne przeprowadzone w ramach projektu (Badania 2025-26) dostarczyły wysokorozdzielczą, trójwymiarową dokumentację geometrii wraku T/S Franken, umożliwiającą szczegółową ocenę jego stanu konstrukcyjnego, stopnia degradacji materiałowej oraz relacji wraku z otoczeniem. Uzyskany materiał stanowi obecnie najbardziej kompletne i wiarygodne źródło informacji o aktualnym stanie obiektu (Rysunek 19).

Analiza modeli fotogrametrycznych potwierdza, że konstrukcja wraku T/S Franken znajduje się w zaawansowanym, lecz stabilnym stanie degradacji. Widoczne są liczne, rozległe uszkodzenia poszycia, pokładu i elementów wewnętrznych, będące zarówno skutkiem bombardowania, jak i długotrwałej degradacji konstrukcji. W wielu miejscach występuje deformacja elementów poszycia, zawalenie pokładu, odsłonięcia wnętrza zbiorników, deformacje i utratę ciągłości poszycia burtowego, które są typowe dla długotrwałego oddziaływania procesów korozyjnych i mechanicznych w środowisku morskim. Jednocześnie brak jest cech wskazujących na gwałtowne lub postępujące w krótkim czasie niszczenie struktury nośnej.



Rysunek 19. Model 3D wraku T/S Franken z zintegrowanym modelem zbiorników (źródło: Badania 2025-26)

Istotnym elementem stabilizującym wrak T/S Franken jest częściowe zasypanie jego burty i dolnych partii kadłuba osadami dennymi, co ogranicza ekspozycję konstrukcji na oddziaływanie prądów morskich. Sytuacja ta sprzyja zachowaniu równowagi fizycznej wraku i zmniejsza ryzyko nagłych przemieszczeń lub rozpadnięcia się elementów konstrukcyjnych.

Zaobserwowane procesy degradacyjne obejmują przede wszystkim postępującą korozję oraz stopniową utratę grubości poszycia, co jest zgodne z wiekiem obiektu oraz warunkami jego zalegania. Procesy te mają charakter długookresowy i przestrzennie zróżnicowany. Ocena stanu zbiorników paliwowych została przeprowadzona w oparciu o zestawienie dokumentacji technicznej z wynikami fotogrametrii (Tabela 36). Znaczna część zbiorników paliwowych jest bezpośrednio naruszona przez uszkodzenia kadłuba, została odsłonięta wskutek zawalenia pokładu, lub znajduje się w strefach, gdzie integralność konstrukcji została jednoznacznie utracona.

Tabela 36. Ocena stanu zbiorników paliwa wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)

Grupa zbiorników	Opis stanu
Zbiorniki oleju ładunkowego (<i>Cargo Oil Tanks</i>)	Zbiorniki oleju ładunkowego nr 1 na lewej i prawej burcie oraz centralne są odsłonięte od góry z powodu utraty poszycia pokładu oraz poszycia burtowego po obu stronach. Zbiorniki oleju ładunkowego nr 2 na lewej i prawej burcie oraz centralne są również odsłonięte. Poszycie burtowe zbiornika oleju ładunkowego nr 3 zostało poważnie uszkodzone na skutek dużego pęknięcia. Integralność prawego zbiornika oleju ładunkowego nr 3 została naruszona z powodu pęknięcia poszycia. Centralny zbiornik oleju ładunkowego nr 3 jest prawdopodobnie nienaruszony. Pęknięcie, które wpływa głównie na zbiornik oleju ładunkowego nr 3 (lewa burta), sięga do dolnego narożnika zbiornika oleju ładunkowego nr 4 (lewa burta) i narusza integralność strukturalną tego zbiornika. Prawy zbiornik oleju ładunkowego nr 4 wydaje się nienaruszony, jednak ze względu na zagłębienie poszycia burtowego w dnie morskim, ocena wizualna stanu strukturalnego zbiornika jest ograniczona, a jego integralność konstrukcyjna może być naruszona. Centralny zbiornik oleju ładunkowego nr 4 wydaje się nienaruszony. Zbiorniki oleju ładunkowego nr 5 na lewej, centralne i na prawej burcie pozostają nienaruszone konstrukcyjnie.
Zbiorniki paliwa bunkrowego (<i>Diesel Bunker Tanks</i>)	Zbiornik na prawej burcie (on_R) wykazuje pęknięcie w poszyciu burty, a także utracił część poszycia pokładu, co powoduje, że struktura zbiornika jest naruszona i pozostaje on odsłonięty. Zbiorniki środkowy (on-c) i lewoburtowy (on_L) prawdopodobnie są nienaruszone. Rufowy zbiorniki paliwa bunkrowego i rezerwowy zbiornik oleju napędowego nie są już nienaruszone w wyniku zapadnięcia się pokładu i pęknięcia poszycia lewej burty.
Zbiorniki oleju smarowego (<i>Lube Oil Tanks</i>)	Zbiorniki na olej smarowy a, b, c i d znajdujące się w części dziobowej wraku także zostały naruszone. Są one odsłonięte z powodu całkowitego braku poszycia pokładu. Rufowy zbiornik na olej smarowy jest prawdopodobnie nienaruszony.
Zbiorniki oleju silnikowego (<i>Motor Oil Tanks</i>)	Zbiorniki oleju silnikowego na lewej i prawej burcie są prawdopodobnie w stanie nienaruszonym.
Zbiorniki oleju przekładniowego (<i>Gear Oil Tanks</i>)	Zbiorniki oleju przekładniowego na lewej i prawej burcie są prawdopodobnie w stanie nienaruszonym.
Zbiorniki oleju zanieczyszczonego (<i>Dirty Oil Tank</i>)	Zbiorniki oleju zanieczyszczonego na lewej i prawej burcie są prawdopodobnie w stanie nienaruszonym.
Zbiornik oleju opałowego (<i>Heating Oil Tank</i>)	Zbiornik oleju opałowego jest prawdopodobnie nienaruszony.
Zbiornik oleju cylindrowego (<i>Cylinder Oil Tank</i>)	Zbiornik oleju cylindrowego jest prawdopodobnie nienaruszony.

Dostęp do zbiorników wewnętrznych wraku T/S Franken jest obecnie znacząco ograniczony ze względu na stan konstrukcji oraz obecność przeszkód zewnętrznych. Na wraku stwierdzono występowanie sieci

rybackich oraz innych elementów antropogenicznych, które miejscowo zakrywają fragmenty kadłuba i utrudniają bezpośrednią obserwację oraz manewrowanie zdalnie sterowanymi pojazdami (ROV).

Dodatkowym utrudnieniem są deformacje i uszkodzenia konstrukcji kadłuba, które ograniczają możliwość identyfikacji i bezpiecznego dostępu do wybranych zbiorników oraz ich elementów konstrukcyjnych, takich jak włazy, odpowietrzniki czy rurociągi. W efekcie pełna i jednoznaczna ocena stanu szczelności wszystkich zbiorników wewnętrznych nie jest obecnie możliwa na podstawie obserwacji wizualnych i danych fotogrametrycznych.

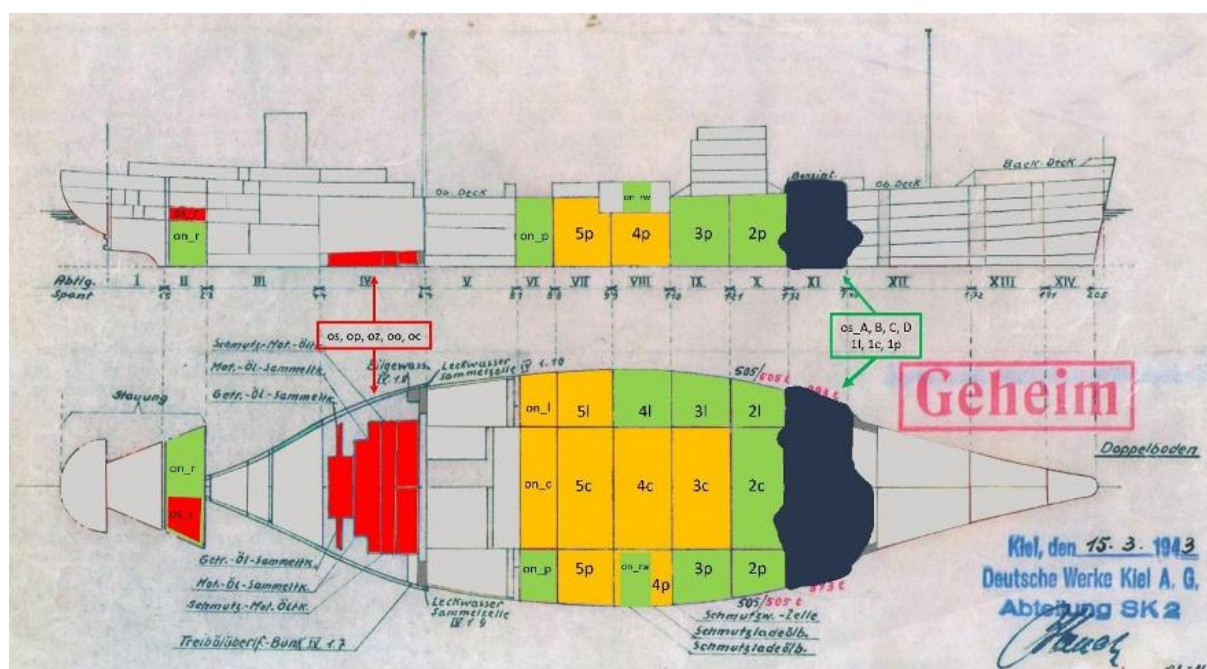
Na podstawie porównania historycznych danych o ilości paliwa, charakteru uszkodzeń, oraz obserwacji wizualnych, oceniono, że ok. 67% paliwa ładunkowego (uszkodzone 10 z 15 zbiorników) oraz ok. 40% paliwa bunkrowego (uszkodzone 2 z 5 zbiorników) zostało utracone w trakcie zatonięcia lub w okresie powojennym.

Jednocześnie wyniki badań wskazują, że część zbiorników może nadal zawierać paliwo, zwłaszcza tam, gdzie brak jest widocznych uszkodzeń poszycia i gdzie zbiorniki są częściowo osłonięte przez osady lub inne elementy konstrukcyjne (Tabela 37, Rysunek 20). Przy założeniu, że pozostałe zbiorniki nie zostały naruszone i nie doszło do utraty paliwa przez odpowietrzniki lub drobne, niewidoczne defekty konstrukcyjne, **maksymalna ilość ropy**, jaka mogła pozostać na wraku, oszacowana została na około **891 ton**, zaś **maksymalna ilość paliwa bunkrowego na 180 ton**.

Tabela 37. Ocena prawdopodobieństwa obecności oleju w zbiornikach wraku T/S Franken (źródło: Badania 2025-26)

Grupa zbiorników	Ocena	Tak	Możliwe	Nie
Zbiorniki oleju ładunkowego	Zbiorniki nr 1 (lewa burta, centralny i prawa burta) nie zawierają oleju, ponieważ zostały całkowicie uszkodzone.			
	Zbiorniki nr 2 (lewa burta, centralny i prawa burta) nie zawierają oleju, ponieważ są odsłonięte od góry na skutek utraty nadległego poszycia pokładu.			
	Zbiorniki nr 3 (lewa i prawa burta) prawdopodobnie nie zawierają oleju, ponieważ ich integralność została naruszona wskutek uszkodzeń poszycia burtowego po lewej burcie oraz pokładu powyżej. .			
	Zbiornik nr 3 (centralny) jest prawdopodobnie nienaruszony i może zawierać olej.			
	Zbiornik nr 4 (lewa burta) prawdopodobnie nie zawiera oleju z powodu pęknięcia w dolnej lewej części poszycia burtowego.			
	Zbiornik nr 4 (centralny) jest prawdopodobnie nienaruszony, jednak ze względu na brak pokrywy luku nad przestrzenią ładunkową, znajdującą się nad zbiornikiem oleju, nie można określić stanu górnej części zbiornika. Możliwe jest więc, że zbiornik nadal zawiera olej, choć nie można tego potwierdzić na podstawie danych z pomiarów.			
	Zbiornik nr 4 (prawa burta) oleju ładunkowego może nadal zawierać olej ponieważ wydaje się być nienaruszony konstrukcyjnie. Jednak ze względu na częściowe osadzenie w dnie morskim mógł on ulec uszkodzeniu, które mogłoby ograniczyć jego zdolność do utrzymania oleju.			
	Zbiornik nr 5 (centralny) może nadal zawierać olej i wydaje się nienaruszony konstrukcyjnie. Jednak ze względu na częściowe osadzenie w dnie morskim mógł on ulec uszkodzeniu, które mogłoby ograniczyć jego zdolność do utrzymania oleju.			
	Zbiorniki nr 5 (lewa i prawa burta) mogą nadal zawierać olej, ponieważ wydają się być nienaruszone konstrukcyjnie. Jednak ze względu na częściowe osadzenie w dnie morskim mogły one ulec uszkodzeniu, które mogłoby ograniczyć ich zdolność do utrzymania oleju.			
	Zbiornik na prawej burcie (on_p) został naruszony i prawdopodobnie nie zawiera już oleju.			

Grupa zbiorników	Ocena	Tak	Możliwe	Nie
Zbiorniki oleju napędowego	Zbiorniki na lewej burcie (on_l) i centralne (on_c) prawdopodobnie są nienaruszone i mogą zawierać olej.			
	Rufowy zbiornik (on_r) został naruszony i prawdopodobnie nie zawiera już oleju.			
	Zbiornik rezerwowy (on_rw) na prawej burcie został uszkodzony i prawdopodobnie nie zawiera już oleju.			
Zbiorniki na olej smarowy	Zbiorniki na olej smarowy A, B, C i D zostały naruszone i prawdopodobnie nie zawierają już oleju.			
	Rufowy zbiornik oleju smarowego (os_r) wydaje się nienaruszony i prawdopodobnie zawiera olej.			
Zbiorniki oleju silnikowego	Zbiorniki na lewej i prawej burcie (os) wydają się być nienaruszone i prawdopodobnie zawierają olej.			
Zbiorniki oleju przekładniowego	Zbiorniki na lewej i prawej burcie (op) wydają się być nienaruszone i prawdopodobnie zawierają olej.			
Zbiorniki oleju zanieczyszczonego	Zbiorniki na lewej i prawej burcie (oz) wydają się być nienaruszone i prawdopodobnie zawierają olej.			
Zbiornik oleju opałowego	Zbiornik (oo) wydaje się nienaruszony i prawdopodobnie zawiera olej.			
Zbiornik oleju cylindrowego	Zbiornik (oc) wydaje się nienaruszony i prawdopodobnie zawiera olej.			



Rysunek 20. Ocena prawdopodobieństwa obecności oleju w zbiornikach wraku T/S Franken; oznaczenia - czerwony: tak; pomarańczowy: możliwe; zielony: nie, opis zbiorników zgodny z tabelą (Tabela 37) (źródło: Badania 2025-26)

Analiza fotogrametryczna nie wykazała oznak aktywnych rozszczelnień zbiorników paliwowych ani innych elementów konstrukcyjnych, które mogłyby wskazywać na bieżące uwalnianie zanieczyszczeń do środowiska morskiego. Nie zaobserwowano aktywnego wycieku paliwa ani obecności oleju wokół wraku. Nie zidentyfikowano również deformacji sugerujących bezpośrednie ryzyko nagłego uwolnienia paliwa w krótkiej perspektywie czasowej.

6.2 Stan rejonu wokół wraku T/S Franken

Przeprowadzone badania (Badania 2025-26) pozwoliły na ocenę stanu chemicznego osadów dennych oraz wód przydennych w rejonie zalegającego wraku T/S Franken. Uzyskane wyniki dostarczają informacji o stopniu oddziaływania wraku na środowisko, w szczególności w kontekście potencjalnego uwalniania zanieczyszczeń do osadów i wód przydennych.

W rejonie wraku T/S Franken badano obecność metali ciężkich szczególnie szkodliwych dla środowiska morskiego: Pb, Cu, Zn, Cd i Hg. Porównanie z obowiązującymi standardami jakości wód wskazanymi przez rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w *sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych* (Dz.U. 2021 poz. 1475) wykazało, że średnie stężenia wszystkich badanych metali nie przekraczają dopuszczalnych wartości, w tym maksymalnych dopuszczalnych stężeń (MAC-EQS). Wyniki stężeń metali ciężkich wskazują, że wrak T/S Franken nie powoduje istotnego lokalnego wzbogacenia metali ciężkich w wodach przydennych, a jego wpływ na środowisko wodne jest umiarkowany i mieści się w granicach naturalnej zmienności tła środowiskowego.

W badaniach rejonu wraku T/S Franken dla 14 z 31 próbek wody przydennej stężenia indeksu oleju mineralnego były poniżej granicy oznaczalności metody, obejmując zarówno stacje w bezpośrednim sąsiedztwie wraku, w tym przy części dziobowej, jak i stację referencyjną. W pozostałych 17 próbkach stężenia wykazywały niewielkie wartości tego parametru. Żadna z próbek nie przekroczyła dopuszczalnej granicy dla indeksu oleju mineralnego określonej w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury, co wskazuje na brak istotnego zanieczyszczenia wód badanego obszaru węglowodorami ropopochodnymi.

W badaniach rejonu wraku T/S Franken oznaczono stężenia związków z grupy WWA (suma 16 analitów) w wodzie przydennej. Porównanie otrzymanych wyników z normami jakości wód wskazuje, że maksymalne dopuszczalne stężenia dla większości analizowanych WWA nie zostały przekroczone. Stężenie benzo(g,h,i)peryleny przekroczyło wartość graniczną w 12 próbkach. Choć przekroczenia mieszczą się w niepewności pomiarowej metody, mogą wskazywać na lokalny wpływ wraku lub na depozycję tych zanieczyszczeń z cząstek organicznych kumulujących się przy zachodniej części wraku.

Powierzchniowe osady denne charakteryzowały się średnią zawartością materii organicznej (LOI). Wyniki te mogą wskazywać na akumulację drobnych cząstek niesionych prądem wokół krawędzi niecki, a co za tym idzie kumulowanie trwałych zanieczyszczeń organicznych, takich jak WWA, węglowodory ropopochodne czy PCB, choć część z nich może mieć inne pochodzenie i nie być związana z wpływem wraku.

Analiza stężeń sumy 16 WWA w osadach dennych i rdzeniach pobranych w rejonie wraku T/S Franken wykazała wartości zgodne z danymi literaturowymi dla omawianego rejonu, przy czym najwyższe stężenie odnotowano bezpośrednio przy dziobowej części wraku; natomiast w pozostałych próbkach stężenia były niższe niż $4,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Podobną tendencję przestrzenną zaobserwowano dla benzo(a)pirenu, który osiągał najwyższe stężenia na tej samej stacji, co wskazuje na lokalne podwyższone zanieczyszczenie osadów dennych w bezpośrednim sąsiedztwie wraku T/S Franken.

Analiza wskaźników diagnostycznych WWA, wskazuje, że w badanych osadach powierzchniowych i rdzeniowych dominują źródła pirogeniczne związane ze spalaniem materiału organicznego, przy

jednoczesnym lokalnym udziale źródeł petrogenicznych w pobliżu wraku T/S Franken, przy czym stężenia WWA są ogólnie niewysokie i mieszczą się w granicach dopuszczalnych norm.

Analiza stężeń węglowodorów ropopochodnych w powierzchniowej warstwie osadów dennych z rejonu wraku T/S Franken wykazała, że podwyższone wartości LOI pokrywają się z wyższymi stężeniami tych zanieczyszczeń, co wskazuje na akumulację związków organicznych. Oznaczone wartości stężeń tego parametru wskazują na umiarkowany poziom zanieczyszczenia.

Stężenia sumy 7 PCB w osadach z rejonu wraku T/S Franken były w większości poniżej granicy oznaczalności, a maksymalna wartość stwierdzona na jednej stacji, w warstwie 0,00–1,00 m pozostaje znacznie poniżej normatywnej granicy $0,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, co wskazuje na bardzo niskie zanieczyszczenie tą grupą związków.

W badanym rejonie stwierdzono lokalne punkty o wyraźnie podwyższonych stężeniach metali w osadach rdzeniowych, przy czym najwyższe wartości odnotowano w jednej próbce w warstwie, co znacząco przekracza typowe zakresy dla osadów regionu. Wzbogacenie Zn, Pb i Cu wskazuje na lokalny charakter wpływu antropogenicznego, w tym korozję elementów metalowych i powłok ochronnych wraku, natomiast podwyższone Cr i Ni mają charakter umiarkowany i są w dużej mierze związane z naturalnym składem mineralogicznym osadów, udziałem drobnej frakcji oraz historycznym oddziaływaniem konstrukcji stalowych wraku, a nie świeżym zanieczyszczeniem. Rozkład przestrzenny metali wskazuje na lokalny charakter wzbogacenia, związany z warunkami sedimentacyjnymi i morfologią dna, które nie wpływają istotnie na wartości średnie całego badanego obszaru.

Porównanie stężenia labilnej formy metali z wartościami granicznymi określonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w *sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urzędzeniami* (Dz.U. 2015 poz. 796) wykazało, że stężenia Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Cr, As i Hg nie przekraczają dopuszczalnych poziomów, co pozwala uznać osady za niezanieczyszczone pod względem metali ciężkich.

W zakresie zanieczyszczeń organicznych fenole w analizowanych próbkach rdzeniowych występowały poniżej granicy oznaczalności i nie osiągały stężeń toksycznych dla organizmów wodnych.

Najwyższe stężenia metali ciężkich, w tym: cynku, ołowiu, miedzi, kadmu oraz rtęci, odnotowano w próbce rdzeniowej, na stacji zlokalizowanej w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca przełamania wraku. Obszar ten znajduje się na napływie prądów morskich oraz nad lokalną niecką dennego mikroreliefu, co sprzyja akumulacji drobniejszej frakcji osadów oraz substancji transportowanych w zawiesinie.

Na podstawie dostępnych danych literaturowych oraz wyników przeprowadzonych badań można przyjąć, że lokalne, punktowe podwyższenia stężeń wybranych zanieczyszczeń w bezpośrednim sąsiedztwie wraku T/S Franken mogą być związane z obecnością i stanem jego zachowania. Jednocześnie należy podkreślić, że obserwowane wartości stężeń metali ciężkich w wodach i osadach dennych pozostają porównywalne z danymi literaturowymi dla Zatoki Gdańskiej, co wskazuje na brak jednoznacznych przesłanek świadczących o istotnym, trwałym oddziaływaniu wraku na środowisko morskie w skali całego badanego obszaru w czasie przeprowadzania badań.

Podczas pobierania próbek do badań chemicznych nie natrafiono na próbki wskazujące na aktualnie trwający rozlew paliwa wokół wraku. Badania chemiczne pobranych próbek również tego nie

potwierdziły. Jednak, uzyskane podwyższone wartości stężeń węglowodorów ropopochodnych i WWA nie pozwalają wykluczyć wpływu wraku T/S Franken na otaczające środowisko abiotyczne i biotyczne. Ponieważ wycieki z wraku są raczej powolne i rozciągnięte w czasie i prowadzą do chronicznego narażenia organizmów morskich. Na podstawie monitoringowych badań chemicznych trudno oszacować emisje zanieczyszczeń.

W badaniach ekotoksykologicznych najwyższą toksyczność stwierdzono w próbkach powierzchniowych rdzeni pobranych na stacjach zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca przełamania wraku. Zbieżność podwyższonych stężeń metali oraz wyników testów toksyczności wskazuje na lokalne oddziaływanie wraku, którego intensywność jest wzmacniana przez warunki hydrodynamiczne i morfologię dna.

Takie uwarunkowania sprzyjają koncentracji zanieczyszczeń o charakterze punktowym, potencjalnie pochodzących z materiałów konstrukcyjnych wraku, powłok ochronnych lub historycznych wycieków, przy jednoczesnym ograniczonym rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń poza bezpośrednie otoczenie obiektu.

Wyniki uzyskane podczas badań ekotoksykologicznych próbek rdzeniowych współgrają z wynikami badań chemicznych tych samych próbek. Potwierdza się zwiększone stężenie trwałych zanieczyszczeń organicznych (tj. węglowodorów ropopochodnych i WWA) w tych samych próbkach, które wykazały wpływ toksyczności subchronicznej dla organizmu bytującego w osadach dennych w próbkach rdzeniowych. Niemniej jednak obliczone wskaźniki identyfikacji źródeł pochodzenia związków z grupy WWA, czy stosunek Nikiel/Vanad nie wskazują na pochodzenie tych zanieczyszczeń bezpośrednio z potencjalnie rozlanego z wraku paliwa.

Badania geofizyczne przeprowadzone w rejonie zalegania wraku T/S Franken potwierdziły, że otoczenie wraku ma charakter złożony i obejmuje liczne obiekty oraz anomalie wymagające interpretacji w kontekście bezpieczeństwa dalszych działań. W sześciu wytypowanych rejonach wykonano pomiary batymetryczne, sonarowe, sejsmoakustyczne i magnetometryczne, na podstawie których rozpoznano zarówno obiekty zalegające na dnie, jak i anomalie występujące w osadach. Na podstawie analizy danych MBES i SSS wytypowano łącznie 200 obiektów znajdujących się na dnie, w tym 48 prawdopodobnych UXO, 1 potencjalny rzut, 137 szczątków oraz 12 obiektów niezidentyfikowanych. Dodatkowo wskazano 89 zagrzebanych anomalii oraz 420 anomalii magnetycznych, z których część skorelowano z obiektami zalegającymi na dnie i anomaliami w dnie.

Inspekcja wizyjna ROV, wykonana dla 17 wytypowanych obiektów wokół wraku T/S Franken, pozwoliła na ich częściową weryfikację. Zidentyfikowano 6 szczątków, 3 sieci rybackie, 1 drewnianą kłodę, 3 fragmenty drzew, 1 potencjalny rzut oraz 2 skupiska pUXO. Wyniki te wskazują, że rejon wokół wraku wymaga dalszego, ukierunkowanego rozpoznania w zakresie obiektów mogących stanowić amunicję konwencjonalną lub inne materiały niebezpieczne. Jednocześnie badania te stanowią istotny element oceny warunków bezpieczeństwa dla ewentualnych przyszłych prac ingerujących w strukturę wraku.

Na podstawie analizy zebranych danych nie rozpoznano śladów rozlewów paliwowych w sąsiedztwie obu części wraku ani na żadnym z analizowanych szczegółowo obszarów, w tym również w lokalizacjach objętych inspekcją ROV. Wynik ten wzmacnia ocenę, zgodnie z którą w czasie prowadzonych badań nie stwierdzono przesłanek aktywnej emisji paliwa do otoczenia. Nie wyklucza

to jednak możliwości występowania lokalnych nagromadzeń zanieczyszczeń w niewielkich zagłębieniach dna, położonych w bezpośrednim sąsiedztwie obu części wraku.

6.3 Amunicja konwencjonalna

W materiale badawczym uzyskanym podczas ekspedycji Fundacji MARE w 2018 roku potwierdzono obecność pocisków w barbetach wszystkich trzech dział kalibru 150 mm (Rysunek 21). Ze względu na występowanie sieci i innych przedmiotów uniemożliwiających bezpośrednią obserwację, elementy te nie zostały potwierdzone w trakcie badań fotogrametrycznych w 2025 roku. Należy jednak przyjąć, że znajdują się ciągle w barbetach. Zidentyfikowane pociski pozbawione są ładunków miotających, prawdopodobnie również pozbawione są zapalników.



Rysunek 21. Amunicja kalibru 150 mm w barbecie armaty na pokładzie T/S Franken (źródło: Hac i Sarna 2021)

Wyniki Badań 2025-26 wskazują na obecność wokół wraku obiektów mogących stanowić amunicję konwencjonalną (skrzyń i skrzynek amunicyjnych o nie w pełni rozpoznanej zawartości) lub inne materiały wybuchowe i niebezpieczne związane z wrakiem T/S Franken. Zarówno amunicja pokładowa, jak i obiekty rozpoznane w trakcie inspekcji ROV, wymagają dalszego rozpoznania. (Rysunek 22, Rysunek 23).

Na obecnym etapie nie jest możliwe jednoznaczne określenie stopnia zagrożenia wszystkich zidentyfikowanych obiektów ani przyjęcie jednolitego sposobu postępowania. Każdy przypadek powinien być oceniany indywidualnie, z uwzględnieniem rodzaju obiektu, jego stanu technicznego, możliwej obecności elementów inicjujących oraz wpływu na bezpieczeństwo potencjalnie planowanych prac.

Z tego względu obecność amunicji należy traktować jako istotne uwarunkowanie dalszych działań przy wraku oraz warunek wejściowy do wszelkich prac ingerujących w jego strukturę.



Rysunek 22. Skrzynia na amunicję dużego kalibru (prawdopodobnie 100 lub 127 mm) w rejonie wraku T/S Franken (źródło: Badania 2025-26)



Rysunek 23. Skrzynka z nabojami nierozpoznanego kalibru (prawdopodobnie powyżej 75 mm, naboje nieuzbrojone w rejonie wraku T/S Franken (źródło: Badania 2025-26)

Tabela 38. Podsumowanie wyników badań wykorzystanych w ocenie stanu wraku T/S Franken i jego otoczenia (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)

Zakres / metoda badawcza	Ustalenia	Znaczenie dla oceny	Czy wymagane są dodatkowe badania
Analiza historyczna i archiwalna	Opisano funkcję jednostki, przebieg zatonięcia oraz historycznie prawdopodobny zakres przewożonych paliw i amunicji.	Podstawa historycznych ocen E-DBA	
BADANIA 2025			
Badania geofizyczne rejonu wraku oraz inspekcja ROV wytypowanych obiektów	Potwierdzono położenie wraku, jego rozdzielanie na części oraz ogólną geometrię obiektu i otoczenia. Rozpoznano złożony charakter dna i otoczenia wraku; wytypowano 200 obiektów na dnie, 89 anomalii pogrzebanych i 420 anomalii magnetycznych; potwierdzono obecność dwóch skupisk pUXO.	Badania umożliwiają ocenę położenia wraku i zmian morfologii dna. Wyniki wskazują, że zagrożenie w rejonie wraku nie ogranicza się do samej konstrukcji wraku, lecz może obejmować też otoczenie i obiekty zalegające na dnie oraz w osadach.	Tak – wymagane jest dalsze rozpoznanie ukierunkowane z wykorzystaniem ROV przed podjęciem decyzji o ewentualnych działaniach ingerujących.
Rozpoznanie amunicji konwencjonalnej	Potwierdzono przesłanki obecności amunicji, ale obecny stan rozpoznania nie pozwala na pełną ocenę zagrożenia wszystkich obiektów.	Obecność amunicji stanowi istotne uwarunkowanie oceny i warunek wejściowy do wszelkich prac ingerujących w strukturę wraku.	
Inspekcja ROV pod kątem śladów rozlewów paliwowych	Nie rozpoznano śladów rozlewów paliwowych w analizowanych obszarach ani w lokalizacjach objętych inspekcją ROV.	Brak rozpoznanych śladów rozlewów wzmacnia ocenę, że w czasie badań nie występowała aktywna emisja paliwa do otoczenia.	
Badania fotogrametryczne	Rozpoznano aktualny stan techniczny wraku, zakres uszkodzeń konstrukcji, dostępność wybranych części wraku oraz przesłanki obecności amunicji. Nie stwierdzono aktywnych wycieków w czasie obserwacji. Wskazano zbiorniki potencjalnie zawierające paliwo oraz zróżnicowano prawdopodobieństwo jego obecności.	Kluczowe źródło wiedzy o obecnym stanie wraku i podstawa oceny bieżącego ryzyka. Pozwala zawęzić zakres dalszej oceny i wskazać zbiorniki o największym znaczeniu dla potencjalnego zagrożenia.	Tak – dla potwierdzenia obecności i ilości paliwa konieczne są dalsze badania ukierunkowane, w tym instrumentalne lub inwazyjne.
Badania środowiskowe – woda, osady, biota	Nie wykazano istotnego bieżącego zagrożenia środowiskowego; nie stwierdzono jednoznacznych przesłanek aktywnej emisji paliwa do środowiska.	Potwierdzają niski poziom bieżącego oddziaływania wraku na środowisko.	
Analizy węglowodorów / zanieczyszczeń	Wskazują na ograniczony poziom aktualnego zanieczyszczenia i brak przesłanek do uznania, że trwa obecnie istotna emisja z wraku.	Wzmacniają ocenę, że bieżące zagrożenie środowiskowe jest niskie.	

Zakres / metoda badawcza	Ustalenia	Znaczenie dla oceny	Czy wymagane są dodatkowe badania
Ponowna ocena ryzyka emisji zanieczyszczeń	Potwierdzono niski poziom bieżącego ryzyka środowiskowego przy utrzymującej się niepewności w perspektywie wieloletniej.	Uzasadnia przyjęcie strategii opartej na monitoringu, zarządzaniu ryzykiem i warunkowym podejściu do dalszych działań.	

6.4 Ponowna ocena ryzyka emisji zanieczyszczeń z wraku T/S Franken

Jak wskazano w Rozdziale 5, wcześniejsze analizy, w tym ocena E-DBA, kwalifikowały wrak T/S Franken jako obiekt potencjalnie niebezpieczny i uzasadniały potrzebę dalszego rozpoznania. Wyniki Badań 2025-26 dostarczyły nowych informacji o aktualnym stanie technicznym wraku, w szczególności o stopniu degradacji konstrukcji, zakresie uszkodzeń kadłuba oraz stanie zbiorników mogących nadal zawierać paliwo lub inne substancje ropopochodne. Jednocześnie badania te nie wykazały aktywnych wycieków w czasie prowadzenia obserwacji. Na tej podstawie przeprowadzono ponowną ocenę ryzyka emisji zanieczyszczeń z wraku, obejmującą scenariusze emisji oraz ich znaczenie dla dalszego postępowania administracji morskiej.

Wyniki badań zrealizowanych w ramach projektu (Badania 2025-26), w tym kompleksowej analizy fotogrametrycznej oraz zestawu badań środowiskowych, nie wskazują na istnienie istotnego bieżącego ryzyka zanieczyszczenia środowiska paliwem zalegającym we wraku T/S Franken (Tabela 39) czy zanieczyszczeniami uwalnianymi z osadów. Badania 2025-26 wskazują, że we wraku może pozostawać maksymalnie ok. **891 t paliwa/oleju ładunkowego** oraz ok. **180 t paliwa bunkrowego**. Nie stwierdzono aktywnego wycieku paliwa ani obecności oleju w otoczeniu wraku. Oznacza to, że aktualne ryzyko bieżącej emisji należy oceniać jako niskie, natomiast ryzyko przyszłej emisji pozostaje związane z dalszą degradacją konstrukcji, stanem poszczególnych zbiorników i możliwością ich rozszczelnienia.

Tabela 39. Ocena ryzyka zanieczyszczenia środowiska paliwem ze zbiorników wraku T/S Franken (źródło: Badania 2025-26)

Lokalizacja zbiorników	Ryzyko zanieczyszczenia
Zbiorniki centralne	Zbiorniki centralne są całkowicie ograniczone wewnętrznym poszyciem konstrukcyjnym ze wszystkich stron, przy czym poszycie kadłuba stanowi ich dolną granicę, a w większości przypadków pokład stanowi ich górną granicę. Taka konfiguracja oznacza, że ściany zbiorników nie są bezpośrednio narażone na działanie zewnętrznych czynników środowiskowych. Dolne ściany wszystkich zbiorników są osadzone w dnie morskim i jeśli pozostaje w nich olej, jest mało prawdopodobne, aby został on uwolniony w obecnych warunkach. W związku z tym ogólne ryzyko zanieczyszczenia olejowego uznaje się za niskie. Zbiorniki, które mogły ulec uszkodzeniu wewnętrznemu, w tym przesunięciu poszycia i potencjalnej deformacji grodzi, mogły umożliwić przedostanie się oleju do innych wewnętrznych przedziałów wraku. Jednakże, ponieważ wrak przechyła się na prawą burtę, a większość tej burty jest osadzona w dnie morskim, zbiorniki te są w dużej mierze ograniczone i podtrzymywane przez otaczające osady. To osadzenie ograniczy ruch i narażenie na czynniki zewnętrzne, zmniejszając prawdopodobieństwo dalszej degradacji konstrukcji i wystąpienia dodatkowych wycieków. W rezultacie, chociaż mogło dojść do wewnętrznego przemieszczenia oleju, ogólne ryzyko zewnętrznego zanieczyszczenia środowiska pozostaje niskie.
Zbiorniki na prawej burcie	Wszystkie te zbiorniki są otoczone poszyciem burtowym, które z czasem może ulegać degradacji strukturalnej i korozji, co potencjalnie zwiększa ryzyko wycieku oleju. Jednakże, ponieważ zdecydowana większość prawej burty jest osadzona w dnie morskim, prawdopodobieństwo dalszych uszkodzeń strukturalnych, a tym samym wycieku oleju, jest mniejsze. W zbiornikach, gdzie górne części poszycia kadłuba nie są osadzone w dnie morskim, istnieje niewielkie ryzyko wycieku oleju przez otwory wentylacyjne, co mogło już nastąpić z biegiem czasu. Po lewej (wyższej) stronie tych zbiorników mogą znajdować się skupiska niewielkich ilości oleju. W przypadku zbiornika oleju silnikowego, zbiornika oleju przekładniowego i zbiornika oleju zanieczyszczonego ryzyko zanieczyszczenia olejowego uważa się za bardzo niskie. Zbiorniki te są zlokalizowane w rejonie kila i są całkowicie osadzone w dnie morskim, co skutecznie zapobiega wyciekowi znacznej ilości ich zawartości.

Lokalizacja zbiorników	Ryzyko zanieczyszczenia
Zbiorniki na lewej burcie	Jedną z granic zbiorników na lewej burcie jest poszycie kadłuba, co może zwiększać potencjalne ryzyko wycieku oleju z czasem z powodu degradacji konstrukcji i korozji. Jednak, podobnie jak w przypadku prawej burty, zbiorniki na lewej burcie są częściowo osadzone w dnie morskim, a poszycie dolnej części jest całkowicie zakopane. To zagłębienie w osadach skutecznie zapobiega dalszym uszkodzeniom konstrukcji w miarę upływu czasu, a tym samym zmniejsza prawdopodobieństwo wycieku oleju poprzez potencjalne miejsca uszkodzenia dna kadłuba. W przypadku zbiornika oleju silnikowego, zbiornika oleju przekładniowego i zbiornika oleju zanieczyszczonego ryzyko zanieczyszczenia olejem uważa się za bardzo niskie. Zbiorniki te znajdują się przy kilu i są całkowicie osadzone w dnie morskim, co skutecznie zapobiega wyciekowi znacznej ilości ich zawartości.
Rufowy zbiornik oleju smarowego, zbiornik oleju opałowego i zbiornik oleju cylindrowego	Zbiorniki te znajdują się w obrębie siłowni, która wydaje się być w dużej mierze zachowana w stanie nienaruszonym. Umieszczone są one w pobliżu poszycia dna, a ponieważ dno kadłuba jest całkowicie osadzone w dnie morskim, ryzyko dalszych uszkodzeń konstrukcyjnych, a tym samym wycieku paliwa z tych zbiorników uważa się za niskie.

Ponowną analizę ryzyka przeprowadzono z wykorzystaniem metody E-DBA, analizy drzewa zdarzeń oraz modelowania STW (opisane w rozdziale Modelowanie emisji zanieczyszczenia) i LPT-IM2. Metody te wykorzystano łącznie, aby ocenić z jednej strony prawdopodobieństwo emisji, a z drugiej – możliwe skutki środowiskowe w przypadku jej wystąpienia. Model LPT-IM2 jest narzędziem autorskim zaproponowanym przez Instytut Morski UMG, umożliwiającym analizę probabilistyczną ekspozycji substancji olejowych na skutek emisji zanieczyszczenia z dowolnego źródła na obszarze Morza Bałtyckiego. Umożliwia m.in. wyznaczenie obszarów o najwyższym statystycznym prawdopodobieństwie wystąpienia skażenia, co jest kluczowe dla priorytetyzacji działań ratowniczych i rekultywacyjnych.

Aktualizacja oceny E-DBA potwierdziła, że wrak T/S Franken należy nadal traktować jako obiekt potencjalnie niebezpieczny. Wynik ten wynika przede wszystkim z wieku wraku, przebiegu zatonięcia, naruszonej konstrukcji oraz możliwości zalegania paliwa w części zbiorników. Jednocześnie nie oznacza to, że obecnie dochodzi do aktywnego wycieku lub że wrak znajduje się w stanie bezpośredniej awarii.

Na potrzeby ponownej analizy ryzyka rozlewów przyjęto kilka scenariuszy emisji (Tabela 40). Za najbardziej prawdopodobny w stanie obecnym uznano scenariusz bazowy, tj. brak wycieku. Uwzględniono jednak również możliwość wystąpienia wycieków chronicznych oraz wycieku nagłego, które mogą być wywołane czynnikami wewnętrznymi (jak korozja zbiorników czy załamanie struktury kadłuba) lub w mniejszym stopniu zewnętrznymi (uszkodzenie mechaniczne przez sieci/kotwicę, ruch osadów, zmiana warunków czy celowa ingerencja). W perspektywie 10 lat prawdopodobieństwo wystąpienia wycieku oszacowano na około 30%. Scenariusz o największej skali uwolnienia uznano za praktycznie niemożliwy. Przedstawione scenariusze wycieku paliwa z wraku T/S Franken mają charakter scenariuszy planistycznych, przyjętych na potrzeby ponownej oceny ryzyka, interpretacji wyników modelowania oraz określenia wymagań w zakresie monitoringu i gotowości reagowania. Nie stanowią one prognozy wystąpienia konkretnego zdarzenia ani precyzyjnego oszacowania masy paliwa, która zostanie uwolniona ze zbiorników.

Tabela 40. *Scenariusze wycieku paliwa ze zbiorników wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne na bazie NOAA, IUCN, Springer Handbook 2024)*

Kategoria scenariusza	Opis, wielkość wycieku	Mechanizm	Horyzont czasowy	Poziom ryzyka ²⁸
Bazowy (brak wycieku)	Zachowana integralność zbiorników, brak wycieku	Stabilny stan wraku, brak zdarzeń inicjujących	Bieżący	Brak
Mały wyciek chroniczny - najbardziej prawdopodobny rozlew (<i>Most Probable Discharge</i> , MPD)	Powolne, niemal ciągłe uwalnianie niewielkich ilości oleju/paliwa (rzędu wielkości: kilogramy–dziesiątki kg na dobę, skumulowane przez lata)	Postępująca korozja kadłuba i zbiorników, mikropęknięcia, nieszczelności na spawach i armaturze	Długoterminowy (dekady) – proces już potencjalnie zachodzący	Niski
Duży wyciek chroniczny	Uwolnienie ok. 10 % całkowitej objętości paliwa/ładunku znajdującego się we wraku – 70 ton/dobę	Częściowe uszkodzenie pojedynczych zbiorników, ograniczone pęknięcie strukturalne, postępująca korozja prowadząca do perforacji	Długoterminowy (mało prawdopodobny w perspektywie kilku–kilkunastu lat)	Wysoki
Katastroficzny rozlew (<i>Worst-Case Discharge</i> , WCD)	Jednoczesne, nagłe uwolnienie znacznej części paliwa pozostającego we wraku	Kaskadowa awaria strukturalna: implozja kadłuba, zdarzenie sejsmiczne, osuwisko podmorskie lub inne zdarzenie zewnętrzne o dużej energii	Praktycznie niemożliwy w całym horyzoncie pozostawania wraku na dnie	Bardzo wysoki

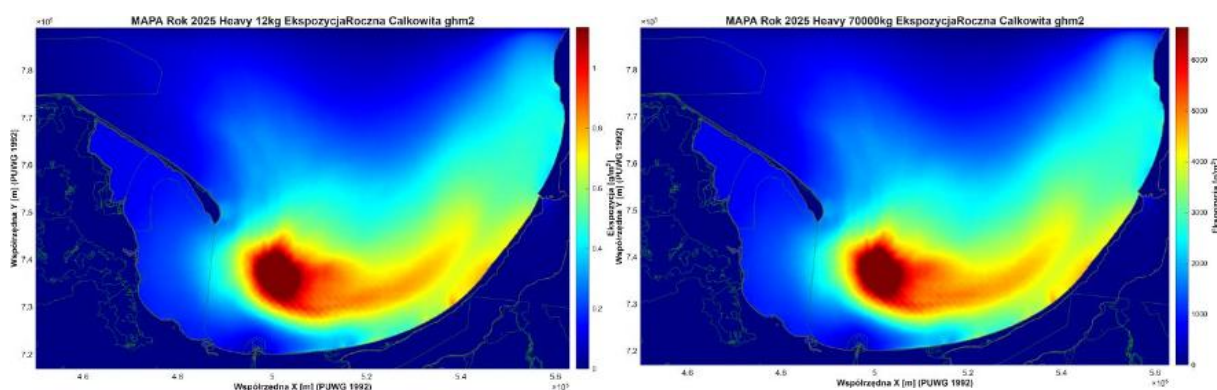
W celu wsparcia ponownej oceny ryzyka, scenariusze emisji paliwa zestawiono z wynikami modelowania rozprzestrzeniania zanieczyszczeń. Modelowanie nie stanowi samodzielnej oceny skutków środowiskowych ani społeczno-gospodarczych, ponieważ nie pozwala na bezpośrednie przełożenie wartości ekspozycji lub depozycji na wielkość strat w populacjach gatunków, siedliskach czy sektorach użytkowania morza. Ich funkcją jest wskazanie potencjalnych kierunków transportu zanieczyszczenia, obszarów narażenia oraz receptorów przestrzennych, które powinny być uwzględnione w monitoringu i gotowości reagowania.

Wyniki modelowania LPT-IM2 wspierają interpretację scenariuszy zakładających ciągłą emisję paliwa, w szczególności scenariuszy małego i dużego wycieku chronicznego, ponieważ obejmują trzy warianty wielkości emisji: 12 kg/d, 500 kg/d oraz 70 000 kg/d. Modelowanie wykonano dla trzech typów substancji ropopochodnych: oleju ciężkiego (Heavy), paliwa lekkiego (Light) oraz oleju o parametrach pośrednich (Middle). Analizy przeprowadzono dla lat 2024, 2025 oraz I kwartału 2026, w ujęciu całorocznym, miesięcznym, kwartalnym oraz fenologicznym, w celu uchwycenia zróżnicowania sezonowego modelowanych rozlewów.

Porównanie rezultatów dla wariantów 12 kg/d, 500 kg/d i 70 000 kg/d dla paliwa ciężkiego, które stanowi główną kategorię potencjalnego zanieczyszczenia związanego z wrakiem, wskazuje, że

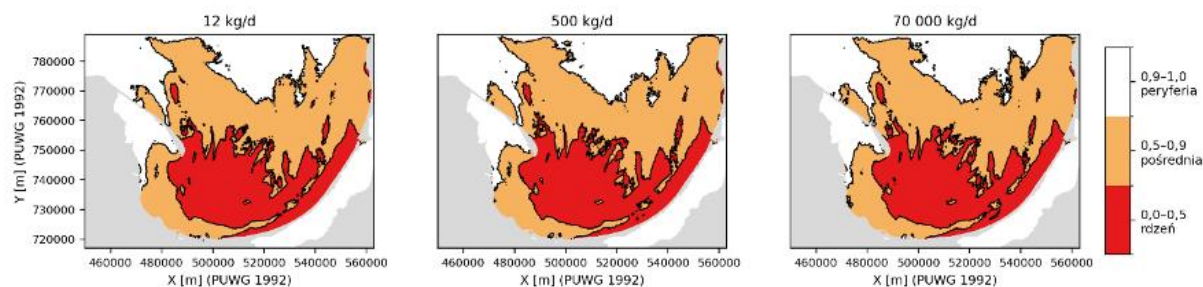
²⁸ rozumiany jako wypadkowa prawdopodobieństwa uwolnienia oraz potencjalnych konsekwencji środowiskowych i społeczno-gospodarczych (zgodnie z metodologią NOAA Office of National Marine Sanctuaries)

wielkość emisji wpływa przede wszystkim na poziom ekspozycji, natomiast w mniejszym stopniu na zasadniczy układ przestrzenny modelowanego oddziaływania (Rysunek 24). Różnice dotyczą głównie wartości bezwzględnych, natomiast główne kierunki rozprzestrzeniania i rdzeń ryzyka pozostają zbliżone. Z tego względu wyniki modelowania można wykorzystać również pomocniczo przy interpretacji scenariusza WCD, jako wskazanie potencjalnych kierunków transportu zanieczyszczenia i receptorów przestrzennych, nie zaś jako bezpośrednią prognozę skutków nagłego uwolnienia paliwa.



Rysunek 24. Ekspozycja roczna całkowita dla paliwa ciężkiego w 2025 roku przy emisji ciągłej 12 kg/d oraz 70 000 kg/d (źródło: Badania 2025-26)

Potwierdzają to analizy izoplet całkowitych, które przedstawiają przestrzenny rdzeń ekspozycji, tj. obszary, w których koncentruje się największa część całkowitego narażenia wynikającego z obecności substancji ropopochodnej na powierzchni wody oraz w toni wodnej. Dla scenariusza Heavy wskazano, że zasadniczy rdzeń ekspozycji obejmuje rejon wraku oraz pas akwenu rozciągający się od źródła w kierunku południowo-wschodnim i wschodnim.



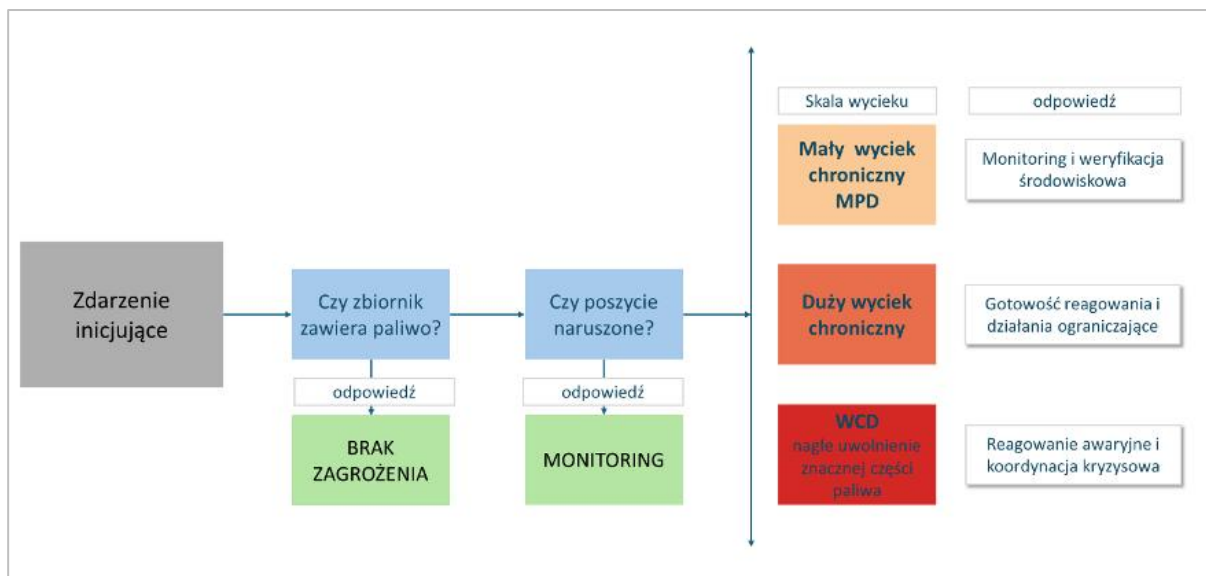
Rysunek 25. Izoplety całkowite dla wariantu Heavy w 2025 roku przy emisji ciągłej 12 kg/d, 500 kg/d i 70 000 kg/d. Kolorem czerwonym oznaczono rdzeń ryzyka 0,0–0,5; kolorem pomarańczowym strefę pośrednią 0,5–0,9; kolorem białym peryferie 0,9–1,0. Linia ciągła oznacza izoplecę 0,5, a linia przerywana izoplecę 0,9 (źródło: Badania 2025-26)

Wyniki modelowania LPT-IM2 wskazują również, że:

- zasadniczy przestrzenny obraz oddziaływania wynika przede wszystkim z ekspozycji w toni wodnej, która odpowiada za szeroki zasięg modelowanej ekspozycji całkowitej. Ekspozycja powierzchniowa, zarówno dla wariantu Heavy, jak i Light, ma charakter bardziej lokalny i koncentruje się głównie w rejonie źródła, jednak pozostaje istotna z punktu widzenia receptorów wrażliwych na kontakt z filmem olejowym, w szczególności ptaków morskich. W konsekwencji ekspozycja całkowita, obejmująca zarówno powierzchnię, jak i tonię wodną, obejmuje znacznie szerszy obszar Zatoki Gdańskiej niż sama ekspozycja powierzchniowa;

- obszar Natura 2000 Zatoka Pucka PLB220005 jest najważniejszym receptorem modelowanego oddziaływania wśród analizowanych obszarów chronionych. W roku 2025 uzyskał najwyższe wartości prawdopodobieństwa depozycji lądowej oraz najwyższe wartości maksymalnej ekspozycji całkowitej wśród analizowanych receptorów. Dla wariantu 70 000 kg/d wartości prawdopodobieństwa depozycji wynoszą ok. 17% dla oleju ciężkiego, ok. 16% dla oleju średniego i ok. 11,5% dla paliwa lekkiego;
- dla ptaków morskich kluczowe znaczenie ma ekspozycja powierzchniowa. W analizowanych wynikach modelowania ekspozycja ta ma charakter lokalny i koncentruje się głównie w rejonie źródła, dlatego wyniki nie wskazują na rozległe, utrwalone narażenie ptaków w obszarze Natura 2000 Zatoka Pucka PLB220005 na film olejowy. Ryzyka krótkotrwałego lub lokalnego narażenia powierzchniowego nie można jednak całkowicie wykluczyć;
- sezonowość wpływa na poziom i rozkład prawdopodobieństwa depozycji lądowej. Dla oleju ciężkiego przy emisji 500 kg/d w roku 2025 najwyższe wartości dla obszaru Natura 2000 Zatoka Pucka PLB220005 występowały we wrześniu, a podwyższone wartości pojawiały się również w okresie od kwietnia do października. Oznacza to, że sezonowość powinna być uwzględniana przy planowaniu monitoringu i gotowości operacyjnej.

Łączna interpretacja wyników Badań 2025-26, wcześniejszych analiz trajektorii rozprzestrzeniania zanieczyszczeń wykonanych z wykorzystaniem modelu STW, ogólnej charakterystyki zachowania się oleju w środowisku morskim oraz wyników modelowania LPT-IM2 pozwala uporządkować znaczenie poszczególnych scenariuszy z punktu widzenia oceny ryzyka, przestrzeni potencjalnego oddziaływania oraz wymagań dotyczących monitoringu i reagowania. Scenariusze nie powinny być interpretowane jako odrębne prognozy szkód środowiskowych, lecz jako ramy oceny możliwych ścieżek rozwoju zagrożenia — od braku aktywnej emisji, przez emisję chroniczną, po zdarzenie awaryjne wymagające uruchomienia działań operacyjnych. Logikę przejścia od rozpoznania źródła zagrożenia do ogólnych kierunków postępowania przedstawiono na rysunku (Rysunek 26).



Rysunek 26. Schemat kwalifikacji scenariuszy emisji paliwa z wraku T/S Franken oraz odpowiadających im ogólnych kierunków postępowania (źródło: opracowanie własne)

W tabeli (Tabela 41) zestawiono konsekwencje poszczególnych scenariuszy dla oceny ryzyka, przestrzeni potencjalnego oddziaływania oraz monitoringu i reagowania. Zestawienie ma charakter syntetyczny i porządkujący; nie stanowi ilościowej oceny strat środowiskowych ani społeczno-gospodarczych.

Przeprowadzona ponowna ocena ryzyka wskazuje, że wyniki Badań 2025-26 nie potwierdzają obecnie aktywnej emisji paliwa z wraku T/S Franken, jednak obecność potencjalnie zachowanych zbiorników paliwowych oraz postępująca degradacja konstrukcji uzasadniają utrzymanie ryzyka przyszłej emisji jako istotnego elementu zarządzania obiektem. Wyniki analiz STW oraz modelowania LPT-IM2 doprecyzowują przestrzenny wymiar tego ryzyka, wskazując przede wszystkim na znaczenie rejonu wraku, Zatoki Gdańskiej, Zatoki Puckiej jako obszaru chronionego, wybranych odcinków brzegu oraz zmienności sezonowej. Wnioski te nie przesądzają o skali potencjalnych szkód środowiskowych, lecz stanowią podstawę do określenia dalszych działań: monitoringu, gotowości reagowania oraz warunkowych działań zabezpieczających lub neutralizacyjnych.

Tabela 41. *Znaczenie scenariuszy emisji paliwa z wraku T/S Franken dla oceny ryzyka, przestrzeni potencjalnego oddziaływania oraz monitoringu i reagowania (opracowanie własne)*

Scenariusz	Znaczenie scenariusza	Przestrzeń potencjalnego oddziaływania	Główne receptory	Ścieżka reagowania
Brak wycieku	Stan zgodny z wynikami Badań 2025-26; brak aktywnej emisji nie oznacza braku ryzyka przyszłego.	Rejon wraku i jego najbliższe otoczenie jako obszar kontroli.	Zbiorniki paliwowe, konstrukcja wraku, osady w bezpośrednim otoczeniu wraku.	Monitoring stanu wraku i środowiska; utrzymanie danych 2025 jako poziomu odniesienia.
Mały wyciek chroniczny (MPD)	Ryzyko długotrwałej, niskiej emisji, trudnej do jednoznacznego wykrycia incydentalnie.	Przed wszystkim rejon źródła, ale przy długim czasie możliwe rozproszone narażenie w toni wodnej oraz okresowe oddziaływanie brzegowe.	Toń wodna, lokalna powierzchnia, osady; przy powierzchniowym filmie olejowym także ptaki morskie i wodne.	Monitoring cykliczny, porównywalne metody, obserwacja powierzchni, kontrola receptorów wrażliwych.
Duży wyciek chroniczny	Zdarzenie o większej skali, wymagające aktywnej gotowości operacyjnej.	Zatoka Gdańska z istotnym znaczeniem depozycji na Mierzei Wiślanej, odmorskiej strony Półwyspu Helskiego, rejonu Trójmiasta/ujść Wisły. Obszar Natura 2000 Zatoka Pucka PLB PLB220005 jako najbardziej narażony wśród obszarów chronionych., Możliwa jest również depozycja poza granicami Polski oraz zmienność sezonowa kierunków i poziomu narażenia	Depozycja brzegowa, ekspozycja w toni wodnej, lokalna ekspozycja powierzchniowa; obszary chronione, ptaki, użytkowanie turystyczno-rekreacyjne brzegu.	Procedury reagowania na poziomie krajowym, priorytetyzacja odcinków brzegu i receptorów, uwzględnienie sezonowości oraz możliwego wymiaru transgranicznego.
Katastroficzny rozlew (WCD)	Skrajny scenariusz nagłego uwolnienia znacznej części paliwa; nie jest precyzyjną prognozą masy emisji.	Te same główne kierunki i receptory przestrzenne, ale potencjalnie wyższe wartości ekspozycji/depozycji i dłuższy czas reagowania oraz dłuższy czas restauracji ekologicznej.	Brzeg, obszary chronione, ptaki przy ekspozycji powierzchniowej, toń wodna i osady przy paliwie ciężkim, a także użytkowanie turystyczno-rekreacyjne brzegu oraz infrastruktura i służby gmin nadmorskich.	Procedury reagowania jw., gotowość instytucjonalna, ustalone role i progi uruchamiania działań, w tym przygotowanie do działań brzegowych i komunikacji kryzysowej.

6.5 Podsumowanie i rekomendacje

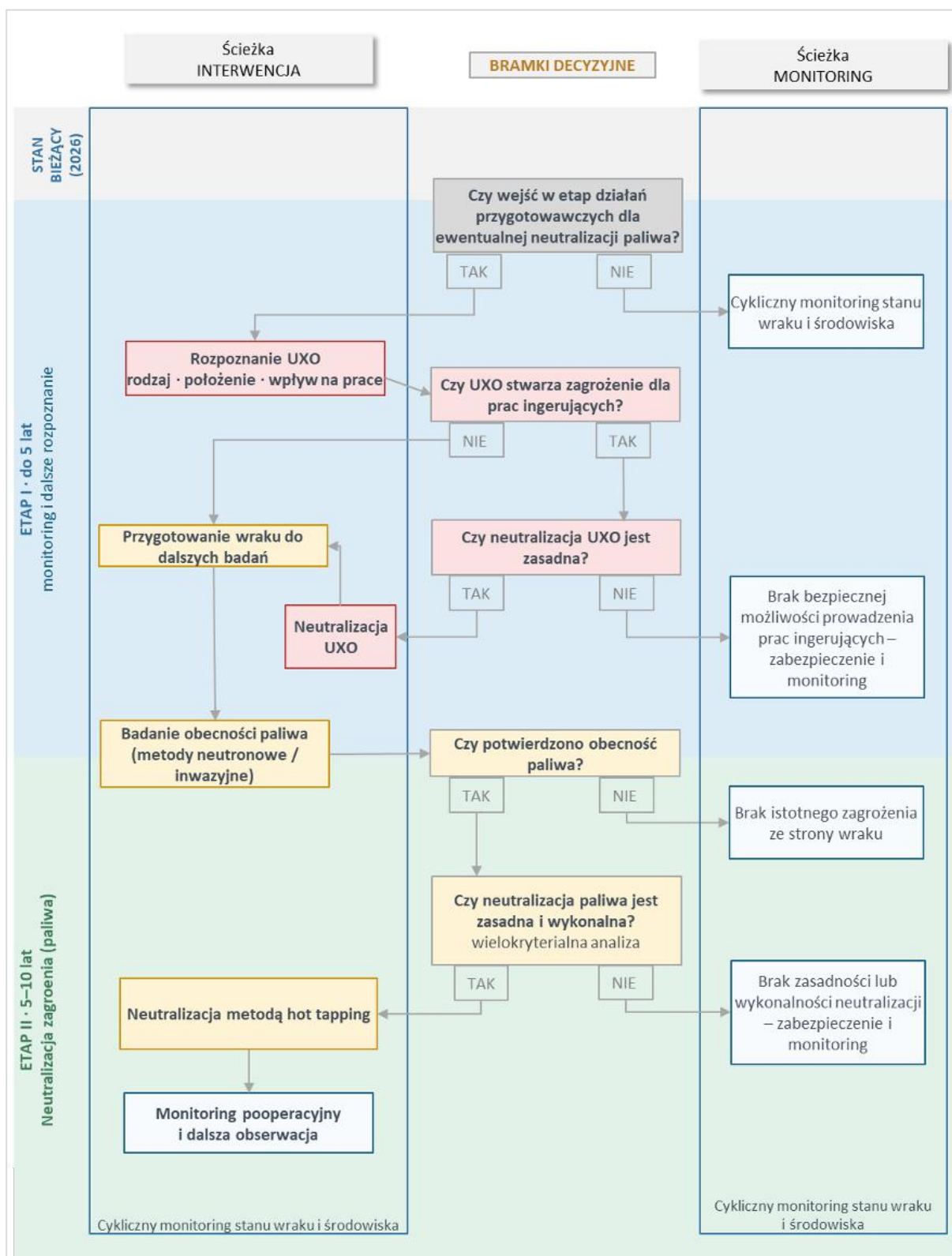
Na podstawie analizy stanu wraku T/S Franken, ponownej analizy ryzyka wycieków oraz oceny stanu otoczenia przyjęto, że bieżące zagrożenie środowiskowe związane z wrakiem jest niskie. Ocena stanu wraku wskazuje również, że wydobycie paliwa nie jest obecnie możliwe do przeprowadzenia bez znaczącej interwencji przygotowawczej, obejmującej usunięcie przeszkód ograniczających dostęp do zbiorników, w tym stwierdzonej w 2018 r. amunicji w obrębie wraku (Hac i Sarna 2021) oraz przygotowanie warunków do bezpiecznego prowadzenia prac. W konsekwencji uznano, że podejmowanie na obecnym etapie działań ingerencyjnych polegających na wydobyciu paliwa lub amunicji nie jest uzasadnione.

Jednocześnie nie można wykluczyć emisji zanieczyszczeń w przyszłości, ponieważ konstrukcja wraku jest uszkodzona, a proces degradacji będzie postępował. Z tego względu ryzyko przyszłej emisji paliwa w perspektywie wieloletniej należy objąć dalszym monitoringiem i zarządzaniem.

Wyniki tej analizy przemawiają za utrzymaniem cyklicznego monitoringu wraku i jego otoczenia oraz za zachowaniem gotowości do podjęcia interwencji w przypadku zmiany sytuacji. Przesłanką do zmiany strategii postępowania powinno być w szczególności stwierdzenie aktywnego wycieku, pojawienie się nowych uszkodzeń konstrukcyjnych, przyspieszenie degradacji wraku albo inne oznaki wskazujące na wzrost ryzyka uwolnienia paliwa. Rekomenduje się zatem strategię opartą na monitoringu, działaniach ograniczających ryzyko oraz etapowym przygotowaniu wraku do ewentualnych dalszych działań (Rysunek 27).

Warunkiem wejściowym dla wszelkich prac ingerujących w strukturę wraku powinno być uprzednie rozpoznanie amunicji, ocena jej znaczenia dla bezpieczeństwa operacji i podjęcie decyzji co do dalszej procedury. Dopiero po rozstrzygnięciu kwestii UXO możliwe jest przejście do działań przygotowawczych, obejmujących oczyszczenie wraku, ponowne rozpoznanie stanu poszycia i warunków dostępności do zbiorników oraz badania obecności paliwa metodami neutronowymi lub inwazyjnymi.

W przypadku potwierdzenia obecności paliwa w ilości uzasadniającej dalsze działania, rekomenduje się przeprowadzenie wielokryterialnej analizy dalszego postępowania, obejmującej w szczególności ocenę ryzyka rozlewów, wykonalność techniczną operacji oraz uwarunkowania prawne i finansowe. W perspektywie do 10 lat, przy spełnieniu tych warunków, możliwe jest przejście do neutralizacji paliwa metodą hot tapping. W przeciwnym razie właściwą ścieżką postępowania pozostaje monitoring i zarządzanie ryzykiem.



Rysunek 27. Schemat decyzyjny dalszego postępowania wobec wraku T/S Franken (źródło: opracowanie własne)

7 KIERUNKI DALSZYCH DZIAŁAŃ

7.1 Perspektywa 5 lat – monitoring i dalsze rozpoznanie

7.1.1 Monitoring stanu wraku i środowiska

Rekomenduje się prowadzenie monitoringu (patrz: Rozdział 9) stanu technicznego wraku oraz obszaru dna wokół niego, obejmującego wykonanie:

- pomiarów geofizycznych z wykorzystaniem sondy wielowiązkowej (multibeam) w obrębie wraku i obszaru dna w bezpośrednim jego otoczeniu w jakości umożliwiającej porównanie otrzymanych wyników do wyników uzyskanych w 2025 r. z częstotliwością raz na 2 lata;
- dokumentacji fotogrametrycznej wraku w jakości umożliwiającej porównanie otrzymanych wyników do wyników uzyskanych w 2025 r. z częstotliwością raz na 5 lat;
- pomiarów grubości poszycia konstrukcji wraku, co najmniej w takim samym nakładzie badawczym jak w 2026 r. z częstotliwością raz na 5 lat.

Zasadniczym celem obu tych badań jest monitorowanie potencjalnych zmian stanu technicznego wraku T/S Franken oraz zmian ukształtowania dna morskiego w bezpośrednim jego otoczeniu mogących mieć wpływ na jego stabilność.

W przypadku stwierdzenia istotnych zmian, zarówno w kwestii stanu technicznego wraku T/S Franken, jak i zmian w ukształtowaniu dna wokół niego mogących mieć wpływ na jego stan, częstotliwość badań będzie można zwiększyć lub podjąć decyzję o usunięciu paliwa z wraku.

Rekomenduje się prowadzenie monitoringu środowiska otoczenia wraku T/S Franken obejmującego badania jakości wody oraz osadów dennych w bezpośrednim jego otoczeniu, ukierunkowane na wykrywanie substancji toksycznych, w szczególności ciężkich frakcji ropopochodnych, metali ciężkich oraz policyklicznych węglowodorów aromatycznych (WWA) wraz z analizą wskaźników środowiskowych mogących świadczyć o uwalnianiu substancji ropopochodnych lub innych zanieczyszczeń do środowiska morskiego z częstotliwością raz na 2 lata.

Zaleca się prowadzenie badań w zakresie i według metodyki spójnej z badaniami zrealizowanymi w ramach badań wykonanych w 2025 r., w celu zapewnienia porównywalności wyników oraz możliwości śledzenia zmian w czasie. Stan środowiska rozpoznany w trakcie tych badań należy traktować jako punkt odniesienia (*baseline*) dla dalszego monitoringu.

7.1.2 Dalsze rozpoznanie amunicji konwencjonalnej w otoczeniu T/S Franken

Przed podjęciem jakichkolwiek działań ingerujących w strukturę wraku konieczne jest przeprowadzenie rozpoznania obecności amunicji / UXO w sposób umożliwiający ocenę rzeczywistego poziomu zagrożenia dla planowanych prac. Rozpoznanie powinno obejmować identyfikację rodzaju obiektów, ich położenia, stanu technicznego, możliwej obecności elementów inicjujących oraz charakterystyki otoczenia, w którym zalegają. Każdy wykryty obiekt należy traktować indywidualnie, z założeniem, że może posiadać układ inicjujący.

Rekonesans powinien mieć charakter wielozakresowy i być prowadzony z wykorzystaniem systemów zdalnie sterowanych, w szczególności ROV, sonarów oraz technik obrazowania umożliwiających ocenę zarówno obiektu, jak i jego relacji do konstrukcji wraku i planowanych miejsc prac. Dopiero odpowiedź

na pytania dotyczące rodzaju obiektu, jego stanu, obecności elementów inicjujących oraz potencjalnych skutków ingerencji powinna stanowić podstawę do oceny zagrożenia i wyboru dalszego sposobu postępowania.

W zależności od wyniku rozpoznania dalszym wariantem może być zarówno neutralizacja lub zabezpieczenie UXO, jak i odstąpienie od ingerencji przy utrzymaniu monitoringu i okresowych inspekcji kontrolnych. Rozpoznanie UXO należy zatem traktować jako warunek wejściowy dla wszelkich prac ingerujących w strukturę wraku, również w przypadku podjęcia decyzji o przystąpieniu do zabezpieczenia technicznego wraku.

7.1.3 Neutralizacja zagrożenia ze strony amunicji konwencjonalnej

Neutralizacja UXO powinna być rozpatrywana wyłącznie w przypadkach, w których wyniki rozpoznania potwierdzą, że obecność amunicji stwarza realne zagrożenie dla planowanych prac ingerujących albo dla bezpieczeństwa otoczenia. Dobór sposobu postępowania powinien być każdorazowo uzależniony od rodzaju obiektu, jego stanu technicznego, położenia względem wraku, możliwej obecności elementów inicjujących oraz od ograniczeń technicznych, ekologicznych i bezpieczeństwa związanych z prowadzeniem działań w danym miejscu. Nie rekomenduje się neutralizacji metodą deflagracji czy detonacji.

Rekomenduje się, aby ewentualne działania neutralizacyjne wobec UXO były prowadzone w pierwszej kolejności z wykorzystaniem systemów zdalnie sterowanych. Użycie nurków należy traktować jako rozwiązanie ostateczne, stosowane wyłącznie w sytuacjach, w których nie ma możliwości wykorzystania metod bezpieczniejszych, przy zachowaniu pełnego zabezpieczenia technicznego, organizacyjnego i medycznego.

Jeżeli neutralizacja UXO nie jest możliwa do przeprowadzenia w sposób bezpieczny albo jej wykonanie wiązałoby się z nieakceptowalnym poziomem ryzyka, właściwym wariantem postępowania powinno być odstąpienie od dalszych prac ingerujących i utrzymanie monitoringu.

W przypadkach, w których sytuacja na to pozwala, a neutralizacja jest technicznie możliwa i uzasadniona, jej przeprowadzenie powinno stanowić etap poprzedzający przygotowanie wraku do dalszych badań i ewentualnych działań związanych z paliwem.

7.1.4 Zabezpieczenie techniczne wraku

Rekomenduje się rozważenie zastosowania zabezpieczenia antykorozyjnego w postaci ochrony katodowej, mającego na celu spowolnienie dalszej degradacji konstrukcji wraku w wyniku procesów korozyjnych i ograniczenie ryzyka przyszłych rozszczelnień.

Przed instalacją systemu ochrony katodowej konieczne jest przeprowadzenie rozpoznania obecności potencjalnych UXO w miejscach planowanej ingerencji oraz ocena bezpieczeństwa prowadzonych prac podwodnych.

Ochrona katodowa jest powszechnie stosowaną metodą ograniczania korozji konstrukcji stalowych w środowisku morskim (Olenycz i in. 2025). Metoda ta polega na wytworzeniu warunków elektrochemicznych, w których chroniona konstrukcja pełni funkcję katody, co prowadzi do istotnego spowolnienia procesów korozyjnych stali. Ochrona katodowa nie eliminuje istniejących uszkodzeń konstrukcji ani nie usuwa zagrożeń środowiskowych związanych z obecnością paliwa wewnątrz wraku, lecz może skutecznie ograniczać tempo dalszej degradacji konstrukcji.

W praktyce morskiej stosowane są dwa podstawowe typy systemów ochrony katodowej:

- ochrona katodowa z anodami galwanicznymi (pasywna);
- ochrona katodowa z prądem przyłożonym (aktywna, ICCP).

Ochrona katodowa z anodami galwanicznymi

System ochrony katodowej z anodami galwanicznymi polega na zamocowaniu do chronionej konstrukcji anod wykonanych z metali bardziej aktywnych elektrochemicznie niż stal, takich jak aluminium lub cynk (Olenycz i in. 2025). Anody te ulegają stopniowemu zużyciu (korozji ofiarnej), dostarczając prąd ochronny do konstrukcji stalowej. System ten nie wymaga zewnętrznego zasilania ani ingerencji w wnętrze obiektu.

W kontekście wraków historycznych i obiektów podwodnych metoda ta jest uznawana za szczególnie odpowiednią ze względu na:

- wysoką niezawodność i prostotę systemu,
- brak konieczności doprowadzania energii elektrycznej oraz przeprowadzania konserwacji;
- możliwość realizacji ochrony bez penetracji kadłuba,
- relatywnie niski poziom ingerencji w strukturę obiektu.

Doświadczenia międzynarodowe wskazują, że systemy anod galwanicznych były skutecznie stosowane m.in. w projektach ochrony *in situ* historycznych wraków okrętów żelaznych, takich jak australijski okręt podwodny AE2, USS *Monitor* czy SS *Xantho*, gdzie wykazano istotne ograniczenie tempa korozji oraz stabilizację stanu konstrukcji.

Ochrona katodowa z prądem przyłożonym (ICCP)

System ochrony katodowej z prądem przyłożonym (ICCP) jest rozwiązaniem aktywnym, wymagającym stałego zasilania elektrycznego oraz instalacji kabli, elektrod i urządzeń sterujących co wiąże się z większą złożonością techniczną, koniecznością utrzymania infrastruktury energetycznej oraz wyższym ryzykiem operacyjnym w przypadku obiektów nieeksploatowanych.

Z uwagi na brak stałego źródła zasilania, znaczne koszty instalacji i utrzymania oraz charakter wraku jako obiektu pasywnego, system ICCP nie jest uznawany za rozwiązanie preferowane w odniesieniu do wraku T/S Franken.

Uwarunkowania środowiskowe i techniczne

Zastosowanie ochrony katodowej wiąże się z lokalnym uwalnianiem produktów korozji anod galwanicznych do środowiska wodnego i osadów dennych. Proces ten ma charakter stopniowy i długookresowy, a jego intensywność jest uzależniona od stanu chronionej konstrukcji oraz stopnia degradacji jej powłok ochronnych (Olenycz i in. 2025). Zjawisko to powinno być uwzględnione w ramach monitoringu środowiskowego, jednak dostępne doświadczenia wskazują, że przy właściwym doborze materiału anod i ich rozmieszczeniu oddziaływanie to ma charakter ograniczony.

7.1.5 Przygotowanie wraku do dalszych badań

Na podstawie przeprowadzonych analiz, wyników Badań 2025 oraz doświadczeń z operacji prowadzonych na wrakach potencjalnie zanieczyszczających należy przyjąć, że przed rozpoczęciem

ewentualnych prac związanych z dalszym zbadaniem wraku T/S Franken należy podjąć następujące kroki:

- **rozstrzygnięcie kwestii formalno-prawnych**

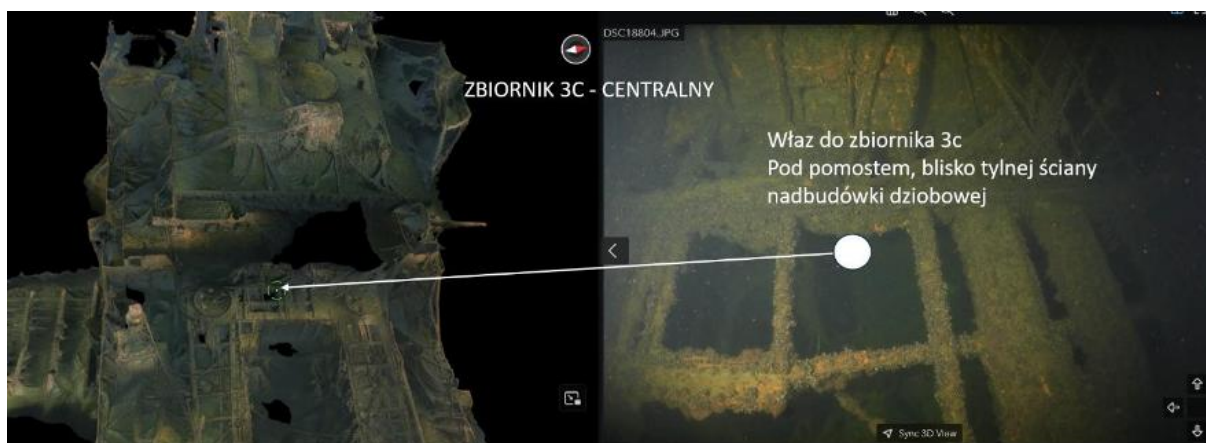
Należy uznać status wraku T/S Franken, który pozostaje własnością państwa niemieckiego i korzysta z immunitetu suwerennego jako okręt w służbie niehandlowej. Wszelkie działania ingerujące w konstrukcję wraku wymagają zatem jednoznacznego uregulowania relacji z państwem bandery.

Biorąc pod uwagę powyższe, rekomenduje się podjęcie działań formalnych wobec strony niemieckiej. Zaleca się wystąpienie na drogę dyplomatyczną o zgodę na podjęcie ściśle określonych działań nakierowanych na wrak związanych z realizacją np. ochrony katodowej, zgodnie z najwyższymi standardami środowiskowymi i minimalną ingerencją w kadłub. Jest to niezbędne, ponieważ rekomendowane zabezpieczenie techniczne wraku stanowi ingerencję w jego strukturę i wymaga jednoznacznych uzgodnień prawnych przed rozpoczęciem prac.

- **oczyszczenie wraku z elementów uniemożliwiających bezpieczne wykonanie planowanych prac w obrębie wraku**

Przed rozpoczęciem ewentualnych prac związanych z dalszym rozpoznaniem (jak również z potencjalną neutralizacją), rekomenduje się oczyszczenie wraku z elementów uniemożliwiających bezpieczne wykonanie robót oraz ograniczających dostęp do planowanych punktów interwencji (Rysunek 28–Rysunek 35). Zakres takich działań powinien obejmować w szczególności:

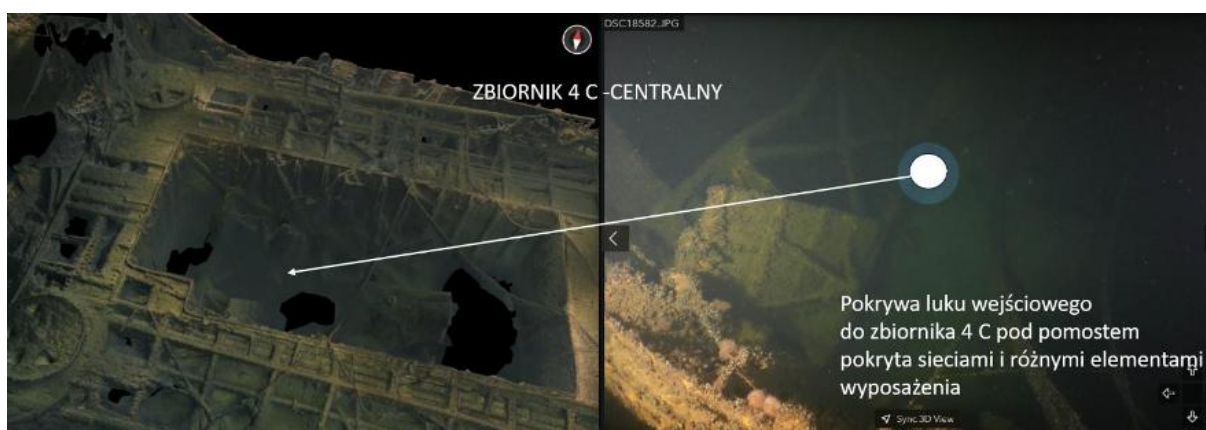
- usunięcie sieci trałowych, żytek, lin oraz innych odpadów rybackich zalegających na pokładzie i nadbudówce;
- usunięcie lub zabezpieczenie elementów wyposażenia przeładunkowego, w tym masztów ładunkowych, bomów (derricków), wciągarek, olinowania oraz przewodów systemu RAS, zwłaszcza w pasach nad zbiornikami ładunkowymi nr 1–4 oraz w korytarzach dostępu od strony burty;
- usunięcie luźnych, zdeformowanych lub ostrych elementów konstrukcji, w tym wygiętych blach pokładowych (szczególnie nad zbiornikami ładunkowymi nr 1–2), zwisających fragmentów zawalonego pokładu, ostrych krawędzi pęknięć poszycia na lewej burcie oraz szczątków poszycia odsłaniających zbiorniki ładunkowe nr 2 i na lewej burcie ;
- usunięcie lub odsunięcie wyposażenia pokładowego zasłaniającego strefy robocze, w szczególności rurociągów, armatury (np. odpowietrzniki, kolektory, wskaźniki poziomu cieczy) oraz pozostałych elementów wyposażenia, takich jak łodzie, żurawiki czy relingi;
- lokalne oczyszczenie powierzchni roboczych z osadu, porostów i warstwowej korozji, tak aby w miejscach planowanego posadowienia narzędzi hot tapping zapewnić dostęp do stabilnego, odsłoniętego metalu.



Rysunek 28. Dostęp do zbiornika ładunkowego 3C (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)



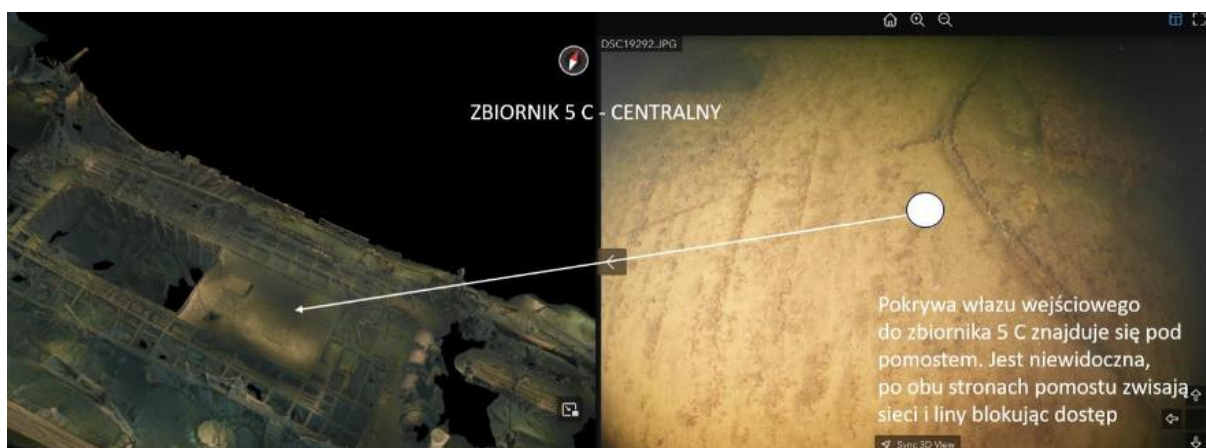
Rysunek 29. Dostęp do zbiornika ładunkowego 4P (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)



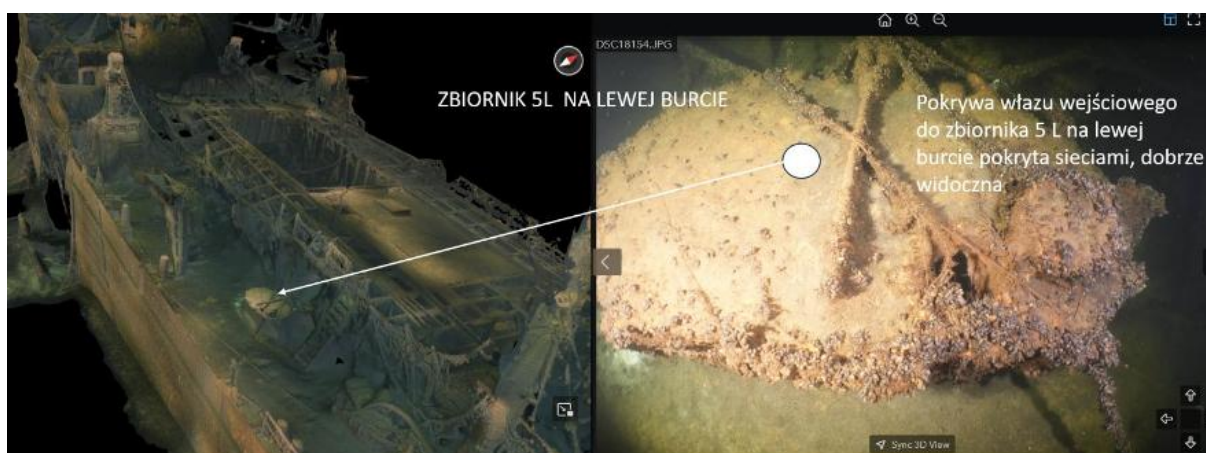
Rysunek 30. Dostęp do zbiornika ładunkowego 4C (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)



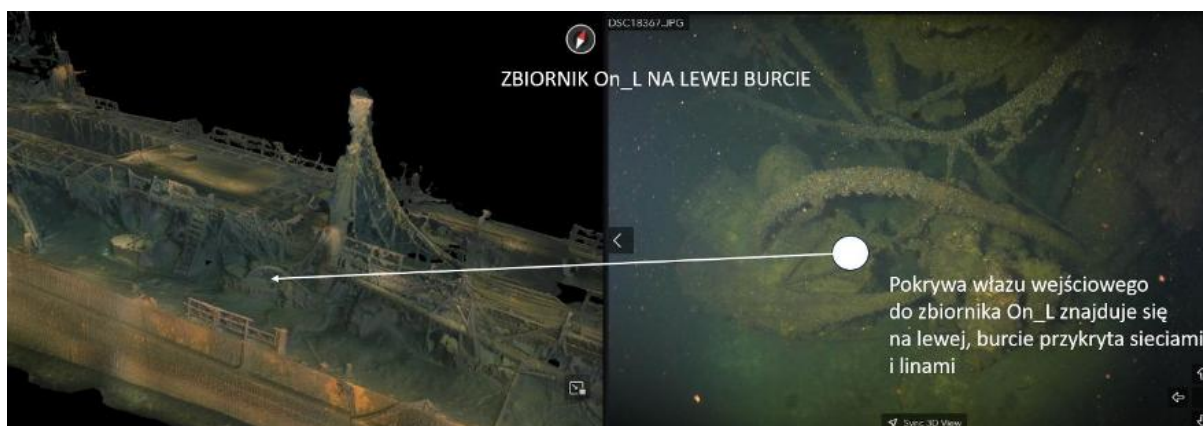
Rysunek 31. Dostęp do zbiornika ładunkowego 5P (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)



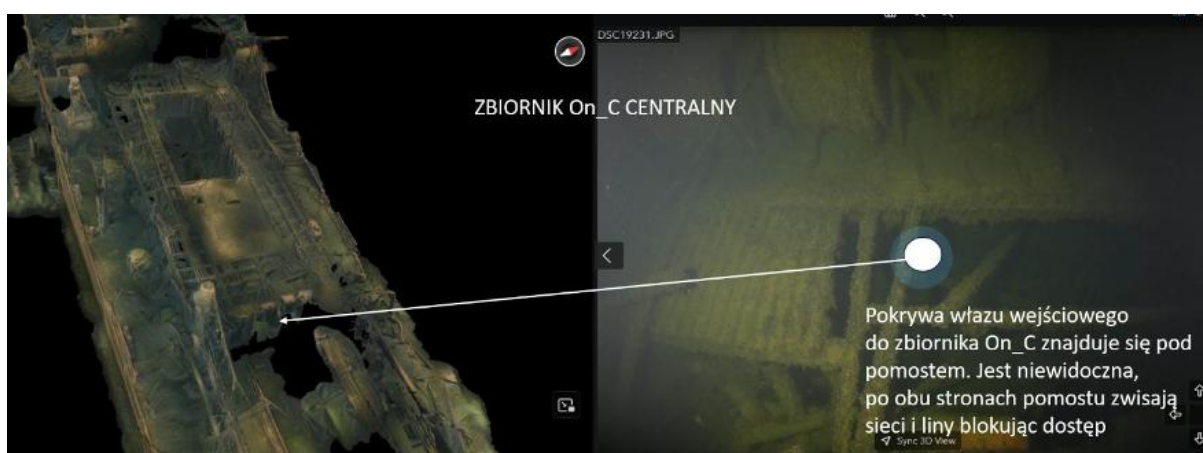
Rysunek 32. Dostęp do zbiornika ładunkowego 5C (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)



Rysunek 33. Dostęp do zbiornika ładunkowego 5L (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)



Rysunek 34. Dostęp do zbiornika o. napędowego On-L (źródło: opracowanie własne na podst. Badania 2025-26)



Rysunek 35. Dostęp do zbiornika o. napędowego On-C (źródło: opracowanie własne na podst. Badania 2025-26)

Działania przygotowawcze powinny koncentrować się przede wszystkim na pokładzie głównym sekcji rufowej oraz na poszyciu lewej burty w rejonie zbiorników ładunkowych nr 3–4, gdzie z jednej strony zidentyfikowano istotne uszkodzenia konstrukcyjne, a z drugiej — relatywnie najlepsze warunki dostępu do potencjalnej interwencji. Na obecnym etapie należy pominąć strefę prawej burty w części osadzonej w dnie morskim, jako obszar niedostępny operacyjnie.

Badanie obecności paliwa technikami neutronowymi lub inwazyjnymi

Po usunięciu przeszkód ograniczających dostęp do wraku oraz po ponownym rozpoznaniu stanu poszycia i warunków dojścia do zbiorników należy przeprowadzić badania ukierunkowane na potwierdzenie obecności paliwa w zbiornikach oraz oszacowanie jego ilości:

- w pierwszej kolejności należy rozważyć zastosowanie technik nieinwazyjnych, w tym metod neutronowych, które mogą umożliwić rozpoznanie obecności paliwa i lokalizację granicy olej-woda bez pełnej ingerencji w konstrukcję zbiornika;
- w przypadku braku technicznej możliwości zastosowania takich metod lub niewystarczającej jakości uzyskanych danych, należy dopuścić zastosowanie metody inwazyjnej, obejmującej przewiercenie wybranych zbiorników, pobór próbek oraz bezpośrednią weryfikację obecności paliwa. W praktyce operacyjnej rozpoznanie inwazyjne powinno być projektowane w taki sposób, aby w przypadku potwierdzenia obecności paliwa oraz spełnienia warunków

technicznych i formalnych mogło ono stanowić etap przygotowawczy do dalszej interwencji z wykorzystaniem metody hot tapping.

Wyniki tych badań powinny stanowić podstawę do kolejnej analizy ryzyka i oceny, czy ilość paliwa zalegającego we wraku uzasadnia przejście do etapu neutralizacji.

7.2 Perspektywa 5–10 lat – działanie warunkowe

Jeśli w wyniku działań przygotowawczych zostanie potwierdzona obecność paliwa oraz techniczna wykonalność operacji, należy przeprowadzić ponownie wielokryterialną analizę dalszego postępowania. Powinna ona obejmować w szczególności analizę ryzyka potencjalnych rozlewów, z uwzględnieniem charakteru substancji, lokalizacji wraku, jego stanu technicznego, możliwych skutków środowiskowych oraz uwarunkowań prawnych, technicznych i finansowych.

Zgodnie z literaturą przedmiotu, operację usuwania paliwa z wraku uruchamia się, gdy łączna ocena kryteriów wskazuje, że koszt zaniechania działań (potencjalne skutki ekologiczne, społeczne, gospodarcze i koszty reakcji na wyciek) przewyższa koszt prewencyjnej interwencji – niezależnie od bezwzględnej ilości paliwa we wraku (IMO, 2007; NOAA, 2013; Michel J. & Schmidt S. 2024; IUCN, 2023).

Jeśli zostanie podjęta decyzja o neutralizacji zagrożenia należy przystąpić do usunięcia paliwa zalegającego na T/S Franken metodą hot-tapping.

Jeśli zostanie podjęta decyzja o odstąpieniu od neutralizacji, należy kontynuować zabezpieczenie techniczne wraku, monitoring stanu wraku oraz środowiska, jak wskazano w punkcie 7.1. *Perspektywa 5 lat – monitoring i dalsze rozpoznanie*.

7.2.1 Neutralizacja zagrożenia ze strony paliwa metoda hot-tapping

Jak opisano w rozdziale 3. Hot-tapping pozwala na bezpieczne usunięcie paliw, olejów i innych substancji niebezpiecznych, przy jednoczesnym zminimalizowaniu ryzyka wycieku i skażenia środowiska, ponieważ nie ma konieczności podnoszenia skorodowanego wraku.

W oparciu o Badania 2025-26, obejmujące analizę fotogrametryczną, pomiary grubości blach oraz analizę historyczną, wytypowano osiem zbiorników o wysokim priorytecie interwencji oraz sześć o średnim (Tabela 42 i Rysunek 36, Rysunek 37, Rysunek 38). Do grupy o najwyższym priorytecie zaliczono przede wszystkim zbiorniki oleju ładunkowego oraz oleju napędowego, które łączą relatywnie dużą potencjalną zawartość paliwa z większym znaczeniem dla scenariuszy wycieku oraz stosunkowo lepszą dostępnością operacyjną. Zbiorniki o średnim priorytecie, zlokalizowane głównie pod siłownią i w części rufowej, pozostają istotne z punktu widzenia pełnego bilansu paliwowego, jednak warunki dojścia do nich i prowadzenia prac są wyraźnie trudniejsze.

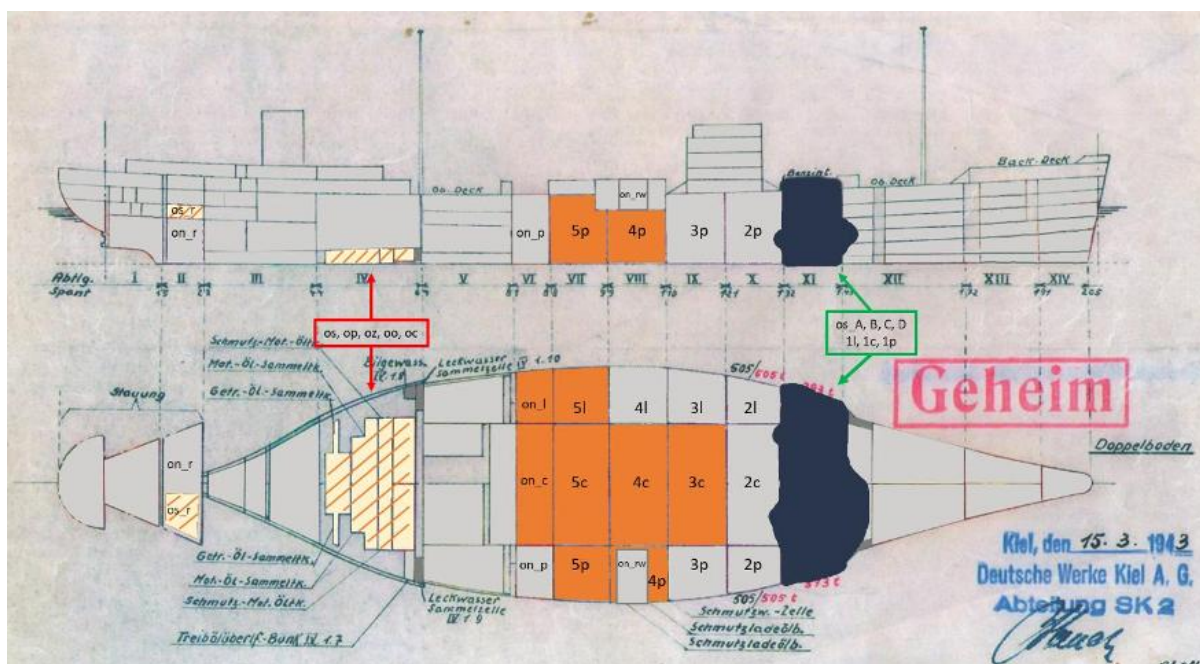
Założenia te należy traktować jako wstępne i możliwe do korekty po wykonaniu działań przygotowawczych.

Tabela 42. Identyfikacja zbiorników do hot-tappingu i ocena priorytetu interwencji (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)

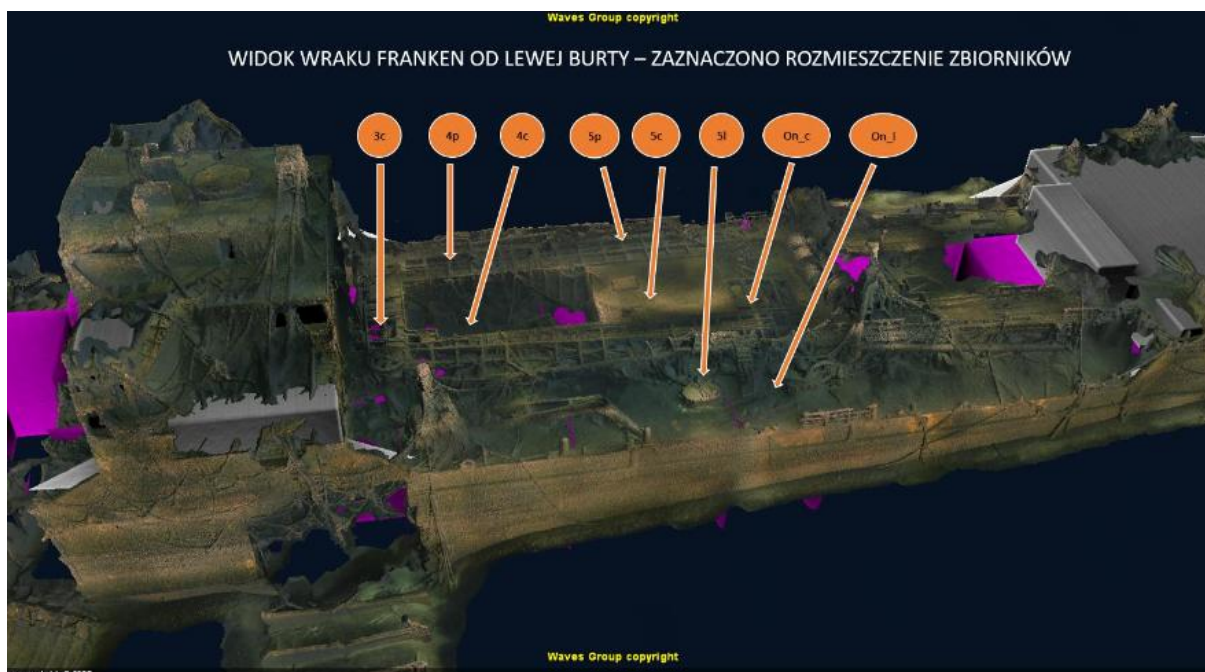
Położenie zbiornika (oznaczenie na rysunku (Rysunek 36))	Nr zbiornika z planu załadunku	Szacowana zawartość paliwa [t]	Typ paliwa	Priorytet	Uwarunkowania i główne wyzwania	Założenia operacyjne i środki ograniczające ryzyko
Olej ładunkowy (max ~890 ton)						
Centralny (3C) wręga 110–121	IX	120–250	HFO	wysoki	duży zbiornik centralny – istotny wkład do WCD; wysoka lepkość HFO; korozja poszycia	narzędzie Miko Moskito; ROV; Heated Hot-Tapping; pompa wyporowa; separator odśrodkowy oleju i wody; strefa bezpieczeństwa wokół miejsca operacji
Centralny (4C) wręga 99–110	VIII 6.27	70–120	HFO	wysoki	bardzo duża pojemność – istotny wkład do WCD; wysoka lepkość HFO; korozja poszycia; przechyl wraku na prawą stronę	Heated Hot-Tapping; ROV z systemem ROLS/FRAMO; separator odśrodkowy oleju i wody; strefa bezpieczeństwa wokół miejsca operacji
Prawa burta (4P) wręga 99–110	VIII 3.4	50–75	HFO	wysoki	ograniczony dostęp - prawa burta osadzona w dnie morskim	narzędzie Miko Moskito (trójnóg na nierównej powierzchni); ROV; Heated Hot-Tapping; nawiert w najwyższym dostępnym punkcie zbiornika (powyżej linii osadzenia);
Lewa burta (5L) wręga 88–99	VII 3.2	50–75	HFO	wysoki	drożne otwory wentylacyjne lewej burty; najwyższe ryzyko wycieku	priorytet operacyjny nr 1: narzędzie Miko Moskito; ROV; Heated Hot-Tapping; monitoring otworów wentylacyjnych lewej burty (ROV + bariery sorpcyjne); nawiert w najwyższym punkcie zbiornika; strefa bezpieczeństwa wokół miejsca operacji; gotowość zespołu reagowania na wyciek
Centralny (5C) wręga 88–99	VII 66.27	150–250	HFO	wysoki	drugi co do wielkości zbiornik centralny – istotny wkład do MPD i WCD; wysoka lepkość HFO	narzędzie Miko Moskito; ROV; Heated Hot-Tapping; pompa wyporowa; separator odśrodkowy oleju i wody; strefa bezpieczeństwa wokół miejsca operacji
Prawa burta (5P) wręga 88–99	VII 3.1	40–75	HFO	wysoki	ograniczony dostęp – prawa burta osadzona w dnie morskim; korozja poszycia, zwł. położenie poprzecznych grodzi; ryzyko niezamierzonego trafienia w pustą przestrzeń lub gródź	narzędzie Miko Moskito; ROV; Heated Hot-Tapping; strefa bezpieczeństwa wokół miejsca operacji
Lewa burta (4L) wręga 99–110	VIII 3.3	0–45	HFO	niski	-	-
Olej napędowy dla jednostki (max ~ 150 ton)						

Położenie zbiornika (oznaczenie na rysunku (Rysunek 36))	Nr zbiornika z planu załadunku	Szacowana zawartość paliwa [t]	Typ paliwa	Priorytet	Uwarunkowania i główne wyzwania	Założenia operacyjne i środki ograniczające ryzyko
Lewa burta (ON_L) Wręga 81–88	VI.3.1	40–60	MGO	wysoki	niska lepkość paliwa, ale wysoka mobilność i lotność, szybkie rozprzestrzenianie w razie wycieku; drożne otwory wentylacyjne lewej burty	narzędzie Miko Moskito; ROV; Hot-Tapping standardowy; szczelne zamknięcie zaworem natychmiast po nawierceniu; bariery sorpcyjne przed nawierceniem; strefa bezpieczeństwa wokół miejsca operacji
Centralny (ON_C) wręga 81–88	VI 6.29	50–90	MGO	wysoki	największy zbiornik MGO; potencjalny wyciek najszybciej wykrywalny na powierzchni (lekki film olejowy), istotny wpływ na ekosystem	narzędzie Miko Moskito; ROV; Hot-Tapping standardowy; pompa wyporowa; szczelne zamknięcie zaworem natychmiast po nawierceniu; transfer na barkę odbiorczą i utylizacja zg. z MARPOL; strefa bezpieczeństwa wokół miejsca operacji
Prawa burta (ON_P) wręga 81–88	VI 3.2	0	MGO	niski	-	-
Niski Odwirowany olej napędowy w zbiornikach rozchodowych (max ~ 40 ton)						
Prawa burta (pod siłownią) wręga 59–63	IV 1.5	10–20		średni	-	-
Lewa burta (pod siłownią) wręga 50–63	IV 1.5	10–20		średni	-	-
Olej przekładniowy (max ~ 20 ton)						
Prawa burta (pod siłownią) wręga 47–51	IV 1.1	10		średni	-	-
Lewa burta (pod siłownią) wręga 47–51	IV 1.2	10		średni	-	-
Olej opałowy						
Centralny (skrajnik rufowy) wręga 16–23	II. 6.30	20–30		średni	-	-

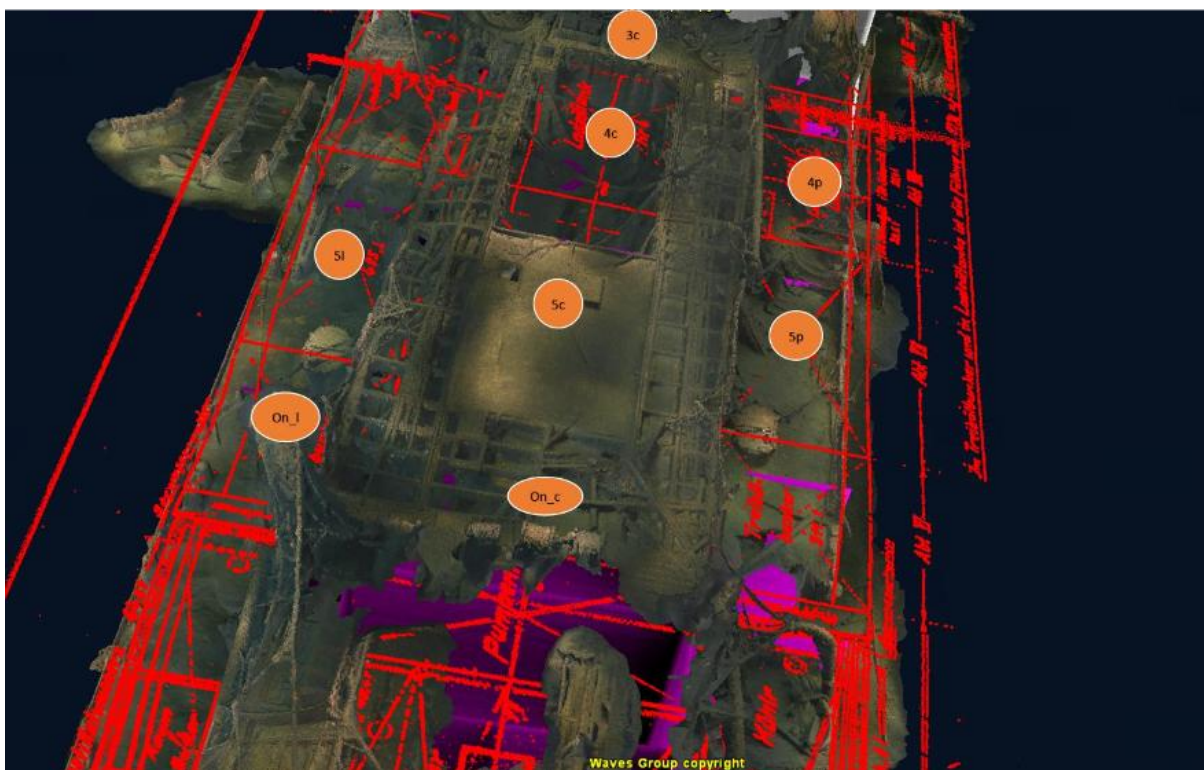
Położenie zbiornika (oznaczenie na rysunku (Rysunek 36))	Nr zbiornika z planu załadunku	Szacowana zawartość paliwa [t]	Typ paliwa	Priorytet	Uwarunkowania i główne wyzwania	Założenia operacyjne i środki ograniczające ryzyko
Olej smarny						
Prawa burta (skrajnik rufowy) wręga 15–21	III.3.29	10–20		średni	-	-



Rysunek 36. Identyfikacja zbiorników do hot-tappingu i ocena priorytetu interwencji; oznaczenia – kolory zbiorników jak w tabeli 42, pomarańczowy szraf – trudny dostęp (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 37. Lokalizacja zbiorników z wysokim priorytetem interwencji (źródło: opracowanie własne na bazie Badania 2025-26)



Rysunek 38. Lokalizacja zbiorników z wysokim priorytetem interwencji, ujęcie z góry (źródło: opracowanie własne na podstawie Badania 2025-26)

Potencjalne operacje w obrębie poszczególnych zbiorników różnią się stopniem złożoności technicznej, dostępnością operacyjną oraz profilem ryzyka. Najważniejsze uwarunkowania obejmują wysoką lepkość paliwa ciężkiego w temperaturach przydennych, przechył wraku na prawą burtę, częściowe osadzenie prawej burty w dnie morskim, postępującą korozję poszycia oraz niepewność, co do rzeczywistego stanu części zbiorników i grodzi. W przypadku zbiorników na lewej burcie dodatkowe znaczenie mają drożne otwory wentylacyjne, które mogą stanowić potencjalną drogę migracji paliwa ku górze, natomiast w odniesieniu do zbiorników z paliwem lekkim istotnym czynnikiem pozostaje większa mobilność medium i szybsze rozprzestrzenianie się go w przypadku uwolnienia. Oznacza to, że każda operacja powinna być poprzedzona odpowiednim przygotowaniem technicznym, potwierdzeniem warunków dostępu, rozpoznaniem stanu poszycia oraz doбором wariantu operacyjnego odpowiedniego do rodzaju paliwa i położenia zbiornika.

Ze względu na znaczne trudności w dostępie do zbiorników zlokalizowanych pod siłownią oraz w części rufowej, do ewentualnych działań interwencyjnych rekomenduje się w pierwszej kolejności wyłącznie zbiorniki o wysokim priorytecie, tj. zbiorniki oleju ładunkowego oraz oleju napędowego. Zbiorniki o średnim priorytecie należy traktować jako wariant późniejszy, uzależniony od wyników etapu podstawowego, dostępności technicznej oraz oceny wpływu operacji na stabilność wraku.

Hot tapping, czyli kontrolowane nawiercanie zbiornika i odpompowanie jego zawartości bez konieczności podnoszenia wraku, obejmuje zasadniczo cztery etapy:

- zamocowanie urządzenia na poszyciu zbiornika,
- wykonanie nawiertu przez zawór,
- wprowadzenie przewodu ssącego oraz

- transfer paliwa do jednostki odbiorczej.

W przypadku T/S Franken należy przewidzieć dwa podstawowe warianty operacyjne: wariant standardowy dla paliw lekkich oraz wariant z podgrzewaniem dla paliw ciężkich, w których konieczne jest obniżenie lepkości medium przed jego odpompowaniem.

Jako podstawowe narzędzie operacyjne rekomenduje się system MOSKITO (pozwala na prowadzenie prac do głębokości 1500 m i charakteryzuje się wydajnością 50–150m³/h), umożliwiając kontrolowany nawiert oraz transfer medium ze zbiornika, natomiast technologią wspierającą powinien być ROV, który pozwala na prowadzenie prac zdalnie, ogranicza ryzyko dla ludzi i umożliwia pozycjonowanie, obserwację oraz wsparcie operacji w warunkach utrudnionego dostępu. W przypadku wybranych zbiorników konieczne może być także zastosowanie dodatkowych rozwiązań, takich jak podgrzewanie paliwa ciężkiego, lokalne oczyszczenie powierzchni roboczej, weryfikacja stanu poszycia przed nawiertem, zastosowanie pompy wyporowej i separatora oleju i wody oraz odpowiednie zabezpieczenie miejsca operacji na powierzchni (Tabela 42).

Istotnym elementem planowania prac powinno być również ich sekwencjonowanie. Z układu zbiorników wysokiego priorytetu wynika, że główny ciąg operacyjny powinien obejmować przede wszystkim zbiorniki centralne z paliwem ciężkim, które łączą największą szacowaną zawartość paliwa z istotnym udziałem w scenariuszach wycieku o dużej skali. W tej grupie zasadne wydaje się przyjęcie sekwencji od rufy ku dziobowi, tj. 5C → 4C → 3C, co odpowiada ich położeniu w układzie wręg i pozwala prowadzić operację w sposób uporządkowany, z bieżącą oceną wpływu opróżniania kolejnych zbiorników na stan wraku i warunki prowadzenia dalszych prac.

Po stronie burtowej pierwszeństwo opróżniania powinny zachować zbiorniki lewej burty, w szczególności 5L oraz ON_L, dla których wskazano wyższe ryzyko potencjalnej migracji paliwa do środowiska. Zbiorniki prawej burty, mimo wysokiego priorytetu, powinny być traktowane ostrożniej z uwagi na ograniczony dostęp wynikający z osadzenia tej części kadłuba w dnie morskim.

Ostateczna sekwencja operacji powinna zostać potwierdzona na etapie planowania wykonawczego, po uwzględnieniu wyników działań przygotowawczych opisanych w punkcie 7.1. *Perspektywa 5 lat – monitoring i dalsze rozpoznanie*.

Harmonogram procesu neutralizacji

Warunek:

- przygotowanie obiektu (powinno zostać wykonane w perspektywie 5 lat – patrz punkt 7.1.5).
- obecność paliwa oraz przeprowadzenie ponownej wielokryterialnej analizy dalszego postępowania (analiza ryzyka potencjalnych rozlewów oraz uwarunkowań prawnych, technicznych i finansowych);

Faza planowania i przygotowania procesu (1-10M)

- powołanie Grupy zarządzającej neutralizacją T/S Franken, odpowiedzialnej również za bieżące kontakty ze stroną niemiecką
- Zabezpieczenie budżetu oraz przygotowanie dokumentacji przetargowej
- Wybór wykonawcy neutralizacji

- Przeprowadzenie procedury środowiskowej dla neutralizacji metodą hot-taping
- Mobilizacja zasobów

Faza wykonawcza (11-14M)

- Hot-tapping 8 zbiorników
- Utylizacja paliwa
- Jeśli wymagane - zabezpieczenie resztek paliwa zalegającego we wraku
- Zabezpieczenie bezpieczeństwa procesu

Faza monitoringu powykonawczego

- Prowadzenie cyklicznego monitoringu środowiska i stanu wraku jeśli zachodzi taka potrzeba.
- Włączenie

7.3 Szacowanie kosztów rekomendowanych działań

W tabeli (Tabela 43) wskazano szacunkowe koszty rekomendowanych działań w obrębie wraku T/S Franken oraz w jego otoczeniu.

Tabela 43. Szacunkowe koszty rekomendowanych działań zabezpieczających, monitorujących i interwencyjnych w obrębie wraku T/S Franken oraz wokół niego (źródło: opracowanie własne)

Działanie	Szacunkowy koszt (Euro)	Komentarz
Zabezpieczenie techniczne wraku		
Koszt instalacji i materiałów	316 000–1 578 000	ochrona katodowa z anodami galwanicznymi, koszt przykładowy, koszt realny jest uzależniony od specyfiki wraku
10-letni koszt obsługi	1 250 000–2 500 000	
Monitoring stanu wraku		
Badania fotogrametryczne (raz na 5 lat)	250 000	w jakości umożliwiającej porównanie otrzymanych wyników do wyników uzyskanych w 2025 r.
Pomiary geofizyczne z wykorzystaniem sondy wielowiązkowej (raz na 2 lata)	40 000	
Pomiar grubości poszycia konstrukcji wraku	60 000	w jakości umożliwiającej porównanie otrzymanych wyników do wyników uzyskanych w 2026 r.
Monitoring środowiskowy		
Badania chemiczne osadów dennych i wody naddennej (raz na 2 lata)	40 000	badania w zakresie i według metodyki spójnej z badaniami zrealizowanymi w ramach badań wykonanych w 2025 r.
Rozpoznanie i neutralizacja amunicji konwencjonalnej		
Rozpoznanie		inspekcja wizyjna ROV oraz analiza zapisów pod kątem rozpoznania amunicji
Neutralizacja	1 000 000 – 2 000 000	koszty trudne do oszacowania, metoda neutralizacji jest zależna od rodzaju rozpoznanego zagrożenia, podane szacunkowe koszty dla metody <i>wydobycie i neutralizacja</i> (założenie do 10 dni)
Przygotowanie wraku (uwzględniając mobilizację zaangażowanych statków)		

Działanie	Szacunkowy koszt (Euro)	Komentarz
Oczyszczenie z sieci	1 000 000–4 500 000	
Zbadanie obecności paliwa – technika neutronowa	2 300 000–9 600 000	
Zbadanie obecności paliwa – technika inwazyjna	4 000 000–17 500 000	
Kampania łączona	6 250 000 – 26 860 000	15% oszczędności na mobilizacji statku i załogi
Hot tapping		
technologia rekomendowana w przypadku konieczności podjęcia neutralizacji	8 000 000–15 000 000	wariant minimalny obejmujący m.in. realizację operacji hot tapping, monitoring podstawowy, utylizację paliwa.
	20 000 000–50 000 000	wariant optymalny (rekomendowany) – realizacja operacji hot tapping wraz z pełnym zakresem działań towarzyszących, w tym pracami przygotowawczymi (rozpoznanie i zabezpieczenie UXO) oraz monitoringiem porealizacyjnym

7.4 Zarządzanie ryzykiem - rekomendacje

W przypadku niepodjęcia lub odłożenia w czasie decyzji o wejściu w etap działań przygotowawczych i ingerujących wobec wraku T/S Franken, rekomenduje się przyjęcie podejścia opartego na monitoringu, ograniczaniu ryzyka oraz przygotowaniu działań administracyjnych do ewentualnej zmiany strategii postępowania.

Przyjęty wariant postępowania jest zgodny z zasadą ALARP, tj. stopniowego ograniczania ryzyka do poziomu możliwie niskiego i racjonalnie osiągalnego na danym etapie rozpoznania i przygotowania działań.

Podejście to powinno obejmować w szczególności:

1. przygotowanie scenariusza reagowania administracji, obejmującego:
 - określenie organu wiodącego, jednostek współpracujących oraz zasad koordynacji działań pomiędzy administracją morską, służbami SAR, instytucjami eksperckimi oraz innymi właściwymi organami;
 - określenie zasad komunikacji wewnętrznej i zewnętrznej, w tym zasad informowania właściwych organów administracji krajowej oraz interesariuszy w przypadku eskalacji sytuacji środowiskowej;
 - przygotowanie roboczego zakresu możliwych działań ingerencyjnych, w tym wariantu neutralizacji paliwa metodą hot-tapping, wraz z określeniem standardów środowiskowych oraz zasad minimalizacji ingerencji w konstrukcję wraku;
 - przygotowanie procedury komunikacji i uzyskiwania uzgodnień międzynarodowych, w szczególności wobec strony niemieckiej, obejmującej identyfikację właściwego punktu kontaktowego, określenie zakresu informacji przekazywanych w przypadku planowanych działań ingerujących oraz trybu postępowania w sytuacji stanu wyższej konieczności.

2. prowadzenie cyklicznego monitoringu stanu wraku i środowiska, zgodnie z rekomendacjami przedstawionymi w Rozdziale 9, oraz bieżącą aktualizację oceny ryzyka w oparciu o wyniki tego monitoringu;
3. objęcie obszaru zalegania wraku T/S Franken monitoringiem/obserwacjami rozlewów;
4. utrzymanie lub wprowadzenie środków ograniczających ryzyko działalności człowieka w rejonie wraku przed podjęciem działań ingerujących, w tym zakazu nurkowania we wnętrzu wraku oraz ustanowienia strefy bezpieczeństwa obejmującej zakaz kotwiczenia i prowadzenia rybołówstwa;
5. uwzględnienie obecności wraku i związanych z nim ograniczeń w dokumentach planistycznych oraz informacyjnych, w tym:
 - wprowadzenie odpowiednich zapisów do planu zagospodarowania przestrzennego morskich wód wewnętrznych części Zatoki Gdańskiej,
 - umieszczenie na mapach nawigacyjnych informacji o potencjalnym występowaniu amunicji konwencjonalnej w rejonie zalegania wraku.

W przypadku zmiany stanu ryzyka środowiskowego, w szczególności w razie istotnego pogorszenia stanu konstrukcji wraku, stwierdzenia aktywnego wycieku paliwa lub innych zanieczyszczeń albo wystąpienia zdarzeń zewnętrznych mogących wpłynąć na stabilność wraku, rekomenduje się przejście do działań przygotowujących administrację do ewentualnej interwencji. Działania te powinny obejmować w szczególności:

1. przygotowanie przez właściwe Służby Ratownictwa Morskiego (SAR) dedykowanego planu reagowania awaryjnego dla wraku T/S Franken, obejmującego scenariusze rozszczelnienia konstrukcji oraz potencjalnego wycieku paliwa;
2. opracowanie przez Dyrektora Urzędu Morskiego w Gdyni scenariusza reagowania, uzgodnionego z SAR oraz innymi właściwymi służbami i instytucjami, określającego tryb podejmowania decyzji oraz zakres możliwych działań;
3. przyjęcie, że w przypadku konieczności podjęcia działań interwencyjnych rekomendowanym wariantem technicznym jest neutralizacja paliwa metodą hot tapping, realizowana etapowo i z możliwością przerwania prac na każdym etapie, zależnie od wyników bieżących obserwacji, monitoringu oraz oceny bezpieczeństwa operacji.

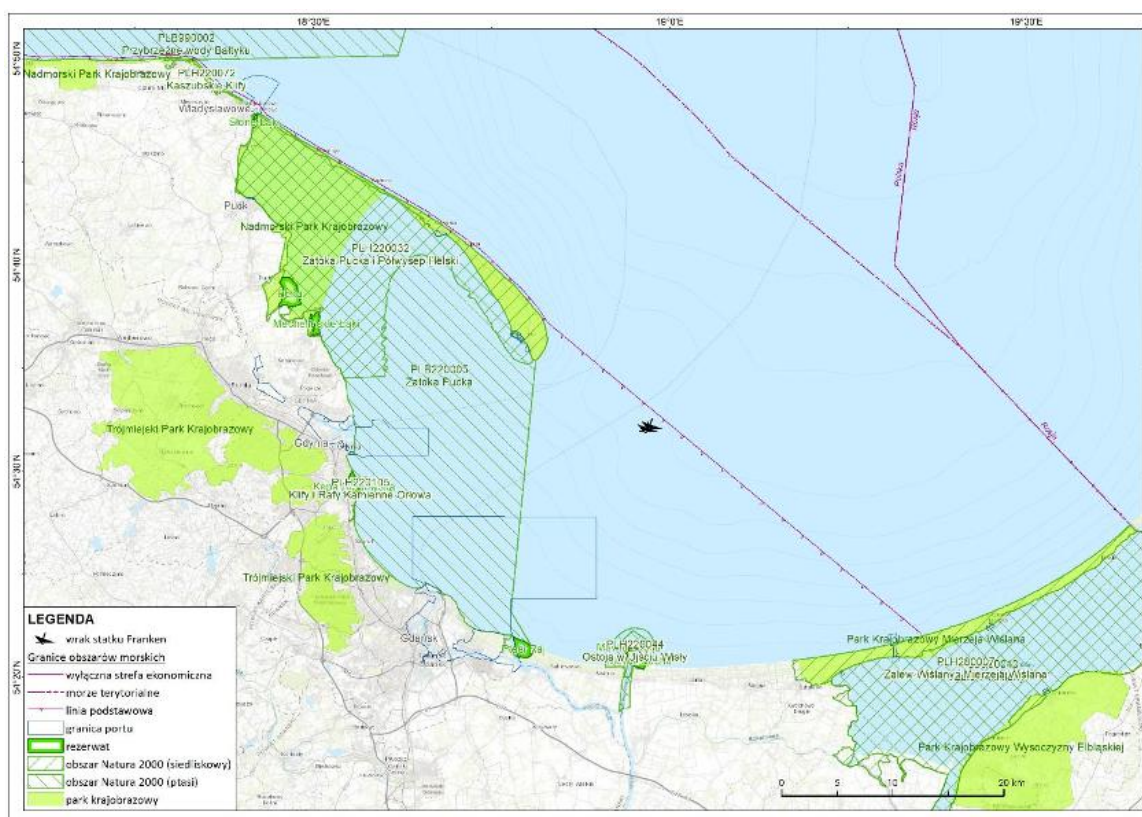
8 WPŁYW PLANOWANEJ NEUTRALIZACJI M.IN. NA STAN ŚRODOWISKA MORSKIEGO

Celem niniejszego rozdziału jest syntetyczne przedstawienie potencjalnego wpływu planowanej neutralizacji paliwa zalegającego we wraku T/S Franken na stan środowiska morskiego oraz na wybrane komponenty przyrodnicze i społeczno-gospodarcze w rejonie Zatoki Gdańskiej. Analiza obejmuje nie tylko potencjalne oddziaływania związane z ewentualnym odpompowaniem paliwa metodą hot tapping, lecz także wpływ działań przygotowawczych, które mogłyby poprzedzać właściwą interwencję, w tym oczyszczania wraku z elementów utrudniających dostęp, dodatkowych badań stanu konstrukcji i zbiorników oraz rozpoznania i ewentualnego postępowania z amunicją konwencjonalną.

Planowane działania będą prowadzone w rejonie wraku T/S Franken, który zalega na akwenie morskich wód wewnętrznych Zatoki Gdańskiej, około 13 km na wschód od Półwyspu Helskiego, na głębokości około 69 m. Otoczenie wraku charakteryzuje się typowymi dla południowego Bałtyku warunkami środowiskowymi, w tym ograniczonym zasoleniem, stosunkowo niską dynamiką prądów oraz występowaniem osadów piaszczysto-mulistych o znacznej zawartości materii organicznej.

W bezpośrednim lub pośrednim zasięgu potencjalnego oddziaływania znajdują się obszary o wysokiej wartości przyrodniczej i społecznej, tj. (Rysunek 39):

- Obszary Natura 2000:
 - Zatoka Pucka PLB220005,
 - Zatoka Pucka i Półwysep Helski PLH220032,
 - Ujście Wisły PLB220004,
 - Ostoja w Ujściu Wisły PLH220044,
 - Zalew Wiślany PLB280010,
 - Zalew Wiślany i Mierzeja Wiślana PLH280007,
 - Klify i Rafy Kamienne Orłowa PLH220105,
- Parki Krajobrazowe:
 - Nadmorski Park Krajobrazowy,
 - Mierzeja Wiślana,
- Rezerваты przyrody:
 - Mewia Łacha,
 - Kępa Redłowska,
 - Beka.



Rysunek 39. Położenie wraku T/S Franken na tle obszarów chronionych (źródło: opracowanie własne na bazie danych GDOŚ)

Rejon wraku T/S Franken pozostaje ponadto w sąsiedztwie istotnych szlaków żeglugowych prowadzących do portów Gdyni i Gdańska oraz jest obszarem wykorzystywanym gospodarczo i rekreacyjnie. Z tych względów ocena wpływu planowanej neutralizacji powinna uwzględniać zarówno komponenty środowiska morskiego, jak i uwarunkowania przestrzenne oraz bezpieczeństwo prowadzenia prac na morzu.

W analizie przyjęto, że potencjalne oddziaływania planowanej neutralizacji mają przede wszystkim charakter lokalny i operacyjny w fazie realizacji prac, natomiast ich znaczenie długoterminowe należy oceniać przez pryzmat możliwego ograniczenia ryzyka przyszłego uwolnienia paliwa do środowiska.

Zastosowanie metody hot tapping w celu neutralizacji paliwa zalegającego we wraku T/S Franken może przynieść istotne korzyści środowiskowe i ekonomiczne. Do najważniejszych należy możliwość trwałego usunięcia znacznej ilości paliwa ze zbiorników o najwyższym priorytecie interwencji. Szacuje się (bazując na Badaniach 2025), że w zależności od rzeczywistej dostępności poszczególnych zbiorników oraz warunków prowadzenia operacji możliwe byłoby usunięcie około 350–700 ton paliwa. Ograniczyłoby to ryzyko przyszłego wycieku, w szczególności w odniesieniu do zbiorników mających największe znaczenie dla scenariuszy uwolnienia paliwa o dużej skali (5C, 4C i 3C). Z punktu widzenia środowiskowego oznaczałoby to zmniejszenie ryzyka zanieczyszczenia wrażliwych obszarów przyrodniczych.

Jednocześnie metoda hot tapping wiąże się z określonymi ryzykami operacyjnymi i wysokimi kosztami realizacji (Tabela 44). Najważniejszym z nich jest możliwość wystąpienia wycieku w trakcie prowadzenia operacji, zwłaszcza w warunkach osłabionej konstrukcji wraku, ograniczonej dostępności

części zbiorników oraz konieczności ingerencji w skorodowane poszycie. Ryzyko to można ocenić jako umiarkowane, przy czym jego potencjalnym skutkiem byłby rozlew o ograniczonej skali. Z samą operacją mogą wiązać się również krótkotrwałe oddziaływania środowiskowe, takie jak lokalne wzruszenie osadów dennych, przejściowe zwiększenie mętności wody, emisja hałasu podwodnego związanego z obecnością jednostek prowadzących prace i wykorzystaniem sprzętu podwodnego oraz miejscowa ingerencja w bentos i organizmy porastające wrak w bezpośrednim sąsiedztwie prowadzenia prac.

Niższe prawdopodobieństwo wystąpienia przypisuje się ryzyku destabilizacji konstrukcji wraku lub wpływu operacji na jego stateczność, w tym miejscowe osiadanie albo przemieszczenie, jednak również te czynniki muszą być uwzględnione przy planowaniu sekwencji prac i doborze zbiorników do interwencji.

Najistotniejsze potencjalne oddziaływania negatywne na środowisko związane z planowanymi działaniami mają charakter krótkotrwały i lokalny, dlatego ich ograniczenie wymaga zastosowania odpowiednich środków technicznych i organizacyjnych, w tym wykorzystania narzędzi do kontrolowanego nawiercania, zdalnie sterowanych pojazdów podwodnych, podgrzewania paliwa ciężkiego, pomp wyporowych i separatorów oleju i wody, a także wyznaczenia strefy bezpieczeństwa wokół miejsca operacji, zapewnienia asysty jednostki zabezpieczającej oraz barki lub zbiornikowca odbiorczego do magazynowania odzyskanego paliwa. W zależności od lokalnych warunków operację powinny dodatkowo wspierać działania ograniczające skutki ewentualnego uwolnienia paliwa, takie jak zastosowanie barier sorpcyjnych i sorbentów oraz bieżący monitoring strefy prac. Niezależnie od powyższego, realizacja operacji oznacza konieczność poniesienia wysokich i nieuniknionych kosztów technicznych oraz organizacyjnych, które można obecnie szacować na około 50–65 mln PLN. Ostateczna ocena zasadności zastosowania metody powinna zatem uwzględniać zarówno potencjalną skalę redukcji ryzyka środowiskowego, jak i rzeczywistą wykonalność operacji oraz jej wpływ na bezpieczeństwo prac i stabilność wraku.

Tabela 44. Syntetyczne zestawienie potencjalnych oddziaływań planowanej neutralizacji paliwa metodą hot tapping na środowisko morskie oraz otoczenie społeczno-gospodarcze (źródło: opracowanie własne)

Receptor	Potencjalne oddziaływanie	Czas trwania / charakter	Istotność oddziaływania
PRACE PRZYGOTOWAWCZE			
Wody morskie	Przejściowy wzrost mętności i lokalne wzruszenie osadów w trakcie oczyszczania wraku i dodatkowych badań	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Niskie–umiarkowane
Osady dennie	Miejscowe naruszenie powierzchni osadów i możliwość wtórnego uruchomienia drobnych zanieczyszczeń	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Umiarkowane
Bentos i organizmy porastające wrak	Lokalna ingerencja mechaniczna w organizmy zasiedlające wrak i jego bezpośrednie otoczenie	Krótkotrwałe / częściowo odwracalne, lokalne, negatywne	Umiarkowane
Ryby, ssaki morskie	Krótkotrwałe płoszenie związane z obecnością jednostek i hałasem podwodnym	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Niskie–umiarkowane
Ptaki morskie	Krótkotrwałe płoszenie związane z obecnością jednostek i zwiększoną aktywnością w rejonie prac	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Niskie
Obszary chronione	Nie przewiduje się istotnego bezpośredniego oddziaływania	-	-
Użytkowanie akwenu	Czasowe ograniczenia w dostępie do rejonu wraku oraz wzrost presji operacyjnej związanej z obecnością jednostek prowadzących prace	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Niskie–umiarkowane
ROZPOZNANIE I NEUTRALIZACJA AMUNICJI KONWENCJONALNEJ			
Wody morskie	Możliwe lokalne wzruszenie osadów, przejściowy wzrost mętności oraz – w zależności od metody – krótkotrwałe pogorszenie jakości wody w rejonie prac	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Umiarkowane
Osady dennie	Możliwe wzruszenie osadów, miejscowe zanieczyszczenie wtórne lub krótkotrwałe uwolnienie materiału z amunicji	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Umiarkowane
Bentos i organizmy porastające wrak	Możliwa miejscowa ingerencja mechaniczna oraz krótkotrwałe naruszenie siedlisk przy dnie.	Krótkotrwałe, odwracalne, lokalne, negatywne	Umiarkowane
Organizmy porastające amunicję	W przypadku podjęcia decyzji o neutralizacji amunicji ingerencja będzie nieodwracalna.	(Neutralizacja) – nieodwracalne, lokalne, negatywne monitoring - znikome	Niskie–umiarkowane
Ryby, ssaki morskie	W zależności od metody – hałas impulsowy, fala uderzeniowa, płoszenie lub uszkodzenie organizmów	Krótkotrwałe, lokalne lub ponadlokalne, negatywne	Niskie–umiarkowane
Ptaki morskie	Możliwe krótkotrwałe płoszenie związane z obecnością jednostek	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Niskie–umiarkowane

Receptor	Potencjalne oddziaływanie	Czas trwania / charakter	Istotność oddziaływania
Obszary chronione	Nie przewiduje się istotnego bezpośredniego oddziaływania	-	-
Użytkowanie akwenu	Czasowe ograniczenia bezpieczeństwa i możliwe wyłączenia fragmentu akwenu z użytkowania na czas operacji	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Umiarkowane
NEUTRALIZACJA PALIWA METODĄ HOT TAPPING			
Wody morskie	Ryzyko niewielkiego, lokalnego uwolnienia paliwa podczas operacji	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Umiarkowane
	przy metodzie hot tappingu z podgrzaniem - lokalnie wzrost temperatury wody	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Umiarkowane
Osady denne	Wzruszenie osadów i przejściowy wzrost mętności w bezpośrednim sąsiedztwie wraku	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Niskie–umiarkowane
Bentos i organizmy porastające wrak	Miejscowa ingerencja w punkty prac oraz krótkotrwałe naruszenie siedliska	Krótkotrwałe / częściowo odwracalne, lokalne, negatywne	Umiarkowane
Ryby, ssaki morskie	Krótkotrwałe płoszenie związane z hałasem podwodnym, obecnością jednostek i pracą sprzętu podwodnego	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Niskie–umiarkowane
Ptaki morskie	Krótkotrwałe płoszenie związane z obecnością jednostek i czasowym wzrostem aktywności operacyjnej	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Niskie
Obszary chronione i wybrzeże	Ograniczenie ryzyka przyszłego zanieczyszczenia obszarów wrażliwych	Długotrwałe, pozytywne	Wysokie
Użytkowanie akwenu	Czasowe ograniczenia operacyjne w rejonie prac; jednocześnie zmniejszenie ryzyka przyszłego incydentu środowiskowego	Krótkotrwałe negatywne i długotrwałe pozytywne	Umiarkowane
SYTUACJE INCYDENTALNE I AWARYJNE			
Wody morskie	Możliwe nagłe uwolnienie paliwa lub innych zanieczyszczeń w wyniku awarii operacji, uszkodzenia kadłuba lub incydentu związanego z amunicją	Krótkotrwałe, nagłe, lokalne lub ponadlokalne, negatywne	Wysokie
Osady denne	Nagłe zanieczyszczenie i wtórne uruchomienie osadów w wyniku uszkodzenia konstrukcji wraku lub detonacji	Krótkotrwałe, lokalne, negatywne	Umiarkowane–wysokie
Bentos i organizmy porastające wrak	Uszkodzenie siedliska i organizmów w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca incydentu	Krótkotrwałe lub częściowo trwałe, lokalne, negatywne	Umiarkowane–wysokie
Ryby, ssaki morskie	Silne oddziaływanie akustyczne i mechaniczne, szczególnie w przypadku detonacji lub gwałtownego uszkodzenia wraku	Krótkotrwałe, lokalne lub ponadlokalne, negatywne	Wysokie

Receptor	Potencjalne oddziaływanie	Czas trwania / charakter	Istotność oddziaływania
Ptaki morskie	Potencjalne skutki wtórne związane z wyniesieniem zanieczyszczeń na powierzchnię wody	Krótkotrwałe, lokalne lub ponadlokalne, negatywne	Umiarkowane
Obszary chronione i wybrzeże	Możliwość wtórnego rozprzestrzenienia zanieczyszczeń na obszary wrażliwe	Krótkotrwałe lub średnioterminowe, negatywne	Wysokie
Użytkowanie akwenu	Konieczność awaryjnego zamknięcia akwenu, działania ratownicze, potencjalne skutki dla żeglugi, rybołówstwa i wykorzystania turystycznego	Krótkotrwałe do średnioterminowego, negatywne	Wysokie
ETAP POOPERACYJNY			
Środowisko morskie jako całość	Ograniczenie źródła potencjalnego wycieku paliwa i zmniejszenie długoterminowego ryzyka skażenia	Długotrwałe, pozytywne	Wysokie
Monitoring i zarządzanie ryzykiem	Możliwość weryfikacji skuteczności działań i wczesnego wykrywania zmian	Długotrwałe, pozytywne	Wysokie

9 MONITORING ŚRODOWISKA

9.1 Monitoring stanu wraku

Rekomenduje się prowadzenie monitoringu w dwóch modułach badawczych, tj.: stanu technicznego wraku oraz obszaru dna bezpośrednio wokół niego, obejmującego wykonanie:

- badań fotogrametrycznych wraku w jakości umożliwiającej porównanie otrzymanych wyników do wyników uzyskanych w 2025 r. oraz pomiarów grubości poszycia konstrukcji wraku w nakładzie badawczym, co najmniej jak w 2026 r. z częstotliwością raz na 5 lat;
- badań geofizycznych w obrębie wraku i obszaru dna w bezpośrednim jego otoczeniu (do 100 m wokół wraku), w jakości umożliwiającej porównanie otrzymanych wyników do wyników uzyskanych w 2025 r. z częstotliwością raz na 2 lata.

Zasadniczymi celami obu tych modułów badawczych jest monitorowanie potencjalnych zmian stanu technicznego wraku T/S Franken oraz zmian ukształtowania dna morskiego w bezpośrednim jego otoczeniu mogących mieć wpływ na jego stabilność.

Badania fotogrametryczne powinny umożliwić stworzenie modelu fotogrametrycznego 3D, o jakości co najmniej takiej jak w trakcie badań w 2025 r. Pomiar grubości poszycia powinny umożliwić, w porównaniu do pomiarów wykonanych w 2026 r. określenie tempa korozji wraku T/S Franken.

Szczegółowe badania batymetryczne należy wykonać za pomocą echosondy wielowiązkowej w siatce profili w odstępach nie większych niż 6 metrów z pokryciem co najmniej 400%. Rezultatem zebranych danych powinien być Numeryczny Model Dna (NMD) o rozdzielczości 0,2 metra.

W przypadku stwierdzenia istotnych zmian, zarówno w kwestii stanu technicznego wraku T/S Franken, jak i zmian w ukształtowaniu dna wokół niego mogących mieć wpływ na jego stan, częstotliwość badań będzie można zwiększyć lub podjąć decyzję o usunięciu paliwa z wraku.

9.2 Monitoring środowiskowy

Rekomenduje się prowadzenie monitoringu środowiska otoczenia wraku T/S Franken obejmującego badania:

- jakości wody naddennej;
- powierzchniowych osadów dennych.

Próbki wody oraz powierzchniowych osadów dennych należy pobrać na tych samych stacjach na których pobrane próbki w badaniach w 2025 r.

W ramach badań wody naddennej należy wykonać analizę następujących parametrów:

- wskaźniki charakteryzujące warunki tlenowe: tlen rozpuszczony;
- substancje szczególnie szkodliwe dla środowiska wodnego (specyficzne zanieczyszczenia syntetyczne i niesyntetyczne): miedź, cynk, węglowodory ropopochodne (indeks olejowy);
- substancje szczególnie szkodliwe dla środowiska – priorytetowe: kadm, ołów, rtęć, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (16 WWA), w tym: benzo(a)piren, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(g,h,i)perylen, indeno(1,2,3-cd)piren.

W ramach badań powierzchniowych osadów dennych należy wykonać analizę następujących parametrów:

- wilgotność, straty prażenia, fenole, ekstrakt eterowy;
- metale: ołów, chrom, cynk, kadm, miedź, nikiel, ołów, rtęć, wanad, molibden;
- całkowity węgiel organiczny (OWO);
- węglowodory ropopochodne (olej mineralny);
- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (16 WWA);
- polichlorowane bifenyle (7 PCB).

Wszystkie badania fizyczno-chemiczne wód i osadów należy wykonać w laboratorium akredytowanym w zakresie powyższych analiz. Badania należy wykonywać z częstotliwością raz na 2 lata.

Zaleca się prowadzenie badań w zakresie i według metodyki spójnej z badaniami zrealizowanymi w ramach badań wykonanych w 2025 r., w celu zapewnienia porównywalności wyników oraz możliwości śledzenia zmian w czasie. Stan środowiska rozpoznany w trakcie tych badań należy traktować jako punkt odniesienia (baseline) dla dalszego monitoringu.

10 STRESZCZENIE W JĘZYKU NIESPECJALISTYCZNYM

10.1 Cel opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń

Plan Neutralizacji Zagrożeń dla obszaru wraku T/S Franken został opracowany w celu uporządkowania wiedzy na temat aktualnego stanu wraku i jego otoczenia oraz określenia zasad dalszego postępowania w kontekście potencjalnych zagrożeń dla środowiska morskiego. Dokument stanowi element szerszych działań podejmowanych przez administrację morską w związku z obecnością zatopionych materiałów niebezpiecznych z okresu II wojny światowej, z których część może stanowić źródło długoterminowych zagrożeń środowiskowych.

10.2 Metodologia opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń

Plan Neutralizacji Zagrożeń został opracowany w dwóch komplementarnych etapach, odpowiadających dwóm częściom dokumentu.

Część I PNZ stanowi analizę wstępną, niezależną od wyników badań terenowych realizowanych w ramach projektu. Obejmuje ona syntezę dotychczasowej wiedzy dotyczącej wraku oraz zatopionych materiałów niebezpiecznych. Metodologia tej części opiera się na analizie materiałów archiwalnych, historycznych i źródłowych dotyczących lokalizacji, charakterystyki i zawartości wraku, a także dokumentów odnoszących się do zatopionych materiałów niebezpiecznych, w tym amunicji konwencjonalnej oraz substancji ropopochodnych. W ramach Części I przeprowadzono również przegląd wyników projektów badawczo-rozwojowych, w szczególności projektów DAIMON i DAIMON 2, analizę porównawczą dostępnych technologii neutralizacji zagrożeń oraz metod zarządzania ryzykiem, ocenę obowiązujących regulacji krajowych i międzynarodowych, a także analizę studiów przypadków zrealizowanych operacji neutralizacji i oczyszczania wraków.

Część II PNZ została opracowana na podstawie wyników badań terenowych i laboratoryjnych przeprowadzonych w 2025 roku. Obejmowały one badania środowiska morskiego oraz stanu wraku, w tym badania fotogrametryczne oraz inspekcje wizyjne z udziałem ROV. Wyniki tych badań stanowiły podstawę do identyfikacji potencjalnych zagrożeń związanych z wrakiem, w szczególności obecności paliwa w zbiornikach wewnętrznych, ewentualnej obecności amunicji konwencjonalnej oraz możliwych wycieków substancji ropopochodnych.

Badania fotogrametryczne dostarczyły trójwymiarowej, wysokorozdzielczej dokumentacji stanu konstrukcji wraku, umożliwiającą ocenę stopnia jego degradacji, charakteru uszkodzeń oraz relacji wraku z osadami dennymi. Równolegle przeprowadzono badania wody i osadów dennych, których celem było wykrycie ewentualnych śladów zanieczyszczeń ropopochodnych lub innych substancji niebezpiecznych.

W przypadku braku przesłanek do podejmowania działań ingerencyjnych metodologia PNZ przewidywała wskazanie alternatywnej ścieżki postępowania opartej na monitoringu, zabezpieczeniach prewencyjnych oraz gotowości do reakcji w przypadku zmiany stanu środowiskowego lub technicznego obiektu.

10.3 Aktualny stan techniczny wraku

Wrak T/S Franken był jednostką Kriegsmarine i zatonął w 1945 r. Obiekt spoczywa na dnie morskim od około 80 lat i znajduje się w polskich wodach wewnętrznych. Z uwagi na historyczne informacje

o przewożonym paliwie wrak ten był wskazywany jako potencjalne źródło zagrożeń środowiskowych, co uzasadniało przeprowadzenie szczegółowych badań.

Wyniki badań przeprowadzonych w 2025 roku wskazują, że konstrukcja wraku znajduje się w stanie zaawansowanej, lecz stabilnej degradacji, typowej dla stalowych obiektów zalegających przez dziesięciolecia w środowisku morskim. Widoczne są liczne uszkodzenia poszycia i elementów wewnętrznych, wynikające zarówno z bombardowania w 1945 r., jak i z długotrwałych procesów korozyjnych. Jednocześnie nie stwierdzono cech wskazujących na gwałtowne lub przyspieszone niszczenie konstrukcji w krótkim horyzoncie czasowym. Istotnym czynnikiem stabilizującym wrak jest częściowe zasypanie jego dolnych partii osadami dennymi, co ogranicza oddziaływanie prądów i falowania przydenne.

10.4 Ustalenia dotyczące paliwa i innych potencjalnych zagrożeń

Analiza stanu zbiorników paliwowych wykazała, że znaczna część zbiorników została naruszona lub zniszczona w trakcie zatonięcia lub w trakcie 80 lat zalegania, co może oznaczać, że duża część paliwa została już utracona. Jednocześnie nie można jednoznacznie wykluczyć, że w części zbiorników wewnętrznych, które nie wykazują wyraźnych uszkodzeń, mogą nadal znajdować się ograniczone ilości paliwa. Szacunki ilości paliwa, jakie mogłoby potencjalnie pozostać we wraku, mają charakter maksymalny i opierają się na założeniu pełnej szczelności tych zbiorników, co w praktyce może oznaczać, że rzeczywista ilość paliwa jest mniejsza. Dostęp do zbiorników wewnętrznych wraku jest obecnie znacząco ograniczony ze względu na stan konstrukcji oraz obecność przeszkód zewnętrznych, stwierdzono występowanie sieci rybackich oraz innych elementów antropogenicznych, które miejscowo zakrywają fragmenty kadłuba i utrudniają bezpośrednią obserwację oraz manewrowanie zdalnie sterowanymi pojazdami.

W trakcie badań nie stwierdzono aktywnych wycieków paliwa ani obecności świeżych śladów substancji ropopochodnych w wodzie lub osadach dennych wokół wraku.

Inspekcje wizyjne z użyciem ROV wskazały miejsca zalegania prawdopodobnie amunicji konwencjonalnej, co wymaga dalszego rozpoznania. Ze względu na obecność sieci i innych przeszkód na statku, nie potwierdzono w badaniu fotogrametrycznym rozpoznanej w 2018 roku amunicji 150 mm, należy jednak uznać, iż pozostaje ona na wraku.

Na podstawie przeprowadzonych badań i modelowania rozlewów uznano, że wrak T/S Franken nie stanowi obecnie bezpośredniego zagrożenia dla środowiska morskiego. Jednocześnie dokument wskazuje, że długoterminowe procesy korozyjne mogą w przyszłości prowadzić do stopniowych zmian stanu konstrukcji, co uzasadnia konieczność dalszej obserwacji obiektu.

10.5 Rekomendowane działania: monitoring i zabezpieczenie prewencyjne

PNZ nie rekomenduje podejmowania na obecnym etapie działań ingerencyjnych, takich jak usuwanie paliwa z wnętrza wraku. Tego typu działania wiązałyby się z istotną ingerencją w konstrukcję obiektu, dodatkowym ryzykiem w środowisku oraz uwarunkowaniami prawnymi, które przy braku przesłanek środowiskowych nie są uznawane za proporcjonalne. Zamiast tego przyjęto podejście oparte na monitoringu i zarządzaniu sytuacją w czasie.

W momencie podjęcia decyzji o działaniach interwencyjnych (spowodowanych zmianą stanu wraku lub decyzją administracji morskiej) Plan określa kolejne kroki konieczne do bezpiecznego i zasadnego podejmowania działań, określając jasno momenty decyzyjne i warunkujące.

Plan zakłada prowadzenie regularnego monitoringu stanu technicznego wraku oraz jego otoczenia środowiskowego, w tym badań jakości wody i osadów dennych. Wyniki badań wykonanych w ramach projektu w 2025 roku stanowią punkt odniesienia dla przyszłych obserwacji i umożliwią wykrycie ewentualnych zmian na wczesnym etapie.

W ramach działań prewencyjnych rozważono również możliwość zastosowania zabezpieczeń technicznych mających na celu spowolnienie dalszej degradacji konstrukcji wraku, takich jak pasywna ochrona katodowa. Rozwiązania te nie prowadzą do neutralizacji paliwa ani nie ingerują w wnętrze wraku, lecz mogą ograniczać tempo procesów korozyjnych i wspierać długoterminową stabilność obiektu.

PNZ uwzględnia uwarunkowania prawne związane ze statusem wraku jako mienia państwa obcego. Wskazano potrzebę współpracy międzynarodowej oraz przygotowania ścieżek formalnych umożliwiających uzyskanie odpowiednich zgód w przypadku konieczności podjęcia działań ingerencyjnych w przyszłości. Równocześnie dokument rekomenduje opracowanie wewnętrznych scenariuszy reagowania administracji morskiej na wypadek zmiany stanu środowiskowego lub technicznego wraku.

BIBLIOGRAFIA

- Alfons Håkans AB. (2015). Shipwreck Pollution Recovery [materiał filmowy / materiał techniczny]. Turku, Finland.
- Bauvorschrift für den Maschinenanlage des Trossschiffes „Franken“. (cyfrowa kopia w posiadaniu autora).
- Cozijn, H., Andritsos, F. 2011. *The DIFIS system for removal of oil from shipwrecks - evaluation of operational conditions, survival conditions and system deployment*. In Conference Proceedings: OCEANS 2011. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS; 2011. p. 1-8. JRC85684.
- Deutsche Werte Kiel AKTIENGESELLSCHAFT Bauvorschrift für den Schiffstörper Trofischiff „Franken“ Oberkommando der Kriegsmarine hauptamt für Kriegschiffbau Archiv u. Plank. K I Cantsch nr 419
- Förstner U, Aplitz SE (2007) Sediment remediation: U.S. focus on capping and monitored natural recovery. *J Soils Sediments* 7 (6):351–358
- Hac B. 2018. Wstępny Plan oczyszczania wraka T/S Franken. Raport Fundacji MARE i Instytutu Morskiego w Gdańsku
- Hac B., Sarna O. 2021. Ogólna metodyka oczyszczania bałtyckich wraków z paliwa. Propozycja Programu Zarządzania Wrakami dla Polski. Raport Fundacji MARE, Warszawa, 2021
- HELCOM 2025. Thematic assessment on hazardous submerged objects in the Baltic Sea (volume 2) potentially polluting shipwrecks in the Baltic Sea.
- Kieser E. 1984. Danziger Bucht 1945 - Dokumentation Einer Katastrophe. München: Universitas
- M/V SAIGA 1999. Sprawa M/V "SAIGA" (NR 2) (Saint Vincent and the Grenadines v. Guinea), ITLOS, <https://www.itlos.org/en/main/cases/list-of-cases/case-no-2/>
- OE-364 2021. Analiza dotycząca zanieczyszczeń Morza Bałtyckiego, ze szczególnym uwzględnieniem statków zatopionych podczas I i II wojny światowej. Informacja na temat działań podjętych w związku z zanieczyszczeniami przez Parlament Europejski, Komisje Helsińską oraz rządy innych państw, Opinie i ekspertyzy, OE-364, Kancelaria Senatu, Warszawa
- Oil in the Sea IV 2022. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2022. Oil in the Sea IV: Inputs, Fates, and Effects. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26410>
- Olenycz M., Opióła R., Gajewski J., Bogucki M., Dombrowski P., Foit S., Gajewski Ł., Gałka K., Ginał K., Hruzdieva O., Kaczmarek N., Kołakowski M., Korczak S., Leszczyńska E., Maszloch E., Mazur-Petka M., Olszewski T., Patejko J., Reszko M., Czaplewski K., Formela K., Kołakowski P., Rogowska K., Słomska A., Sokół K., Sontowski M., Wróblewski R., Zabrocki Sz., Dworniczak J., Kusio T., Lange M., Grabowska M., Marciniak M., Marcinkowski T., Załęski K., Misiewicz E., Kapiński J., Kałas M., Galer-Tatarowicz K., Dembska G., Pazikowska-Sapota G., Flasińska A., Bojke A., Lisimenka A., Barańska A., Dziaduch D., Jodziewicz B., Nermer T.,

- Drgas A., Kuzebski E., Broćławik O., Chreptowicz M., Nocoń M., Sadowska-Maksym U., Thomsen F., Meissner W., Kośmicki A., Rydzkowski P., Strzelecki D., Johansen T.W., Karlson M., Pilacka L., Schönberger L., Skov H., Zapart A., Dziura A., Skuza K. 2025. Raport o oddziaływaniu Morskiej Farmy Wiatrowej Baltica-1 na środowisko. 558 s. + załączniki
- Oyama K. 2021. Legal Status of Sunken State Vessels, *Hōgaku Kenkyū*, 94(1), pp. 320–332
- Piotrowski M. 2019. Przynależność państwowa statków morskich, w świetle prawa międzynarodowego, DOI 10.33226/0137-5490.2019.3.29, w: PRZEGLĄD USTAWODAWSTWA GOSPODARCZEGO, 3/2019, Warszawa, ISSN 0137-5490
- Relative bioavailability and toxicity of fuel oils leaking from World War II shipwrecks, Guri Faksness, Per Daling, Dag Altin, Hilde Dolva, Bjørn Fosbæk, Rune Bergstrøm. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 94, Issues 1–2, 15 May 2015, Pages 123-130
- IUCN, 2023, *Marine pollution from sunken vessels*, Issues brief, International Union for Conservation of Nature, Gland, dostęp online <https://iucn.org/resources/issues-brief/marine-pollution-sunken-vessels>
- IMO (2007). *Nairobi International Convention on the Removal of Wrecks*. International Maritime Organization. – ramy prawne i kryteria oceny zagrożenia stwarzanego przez wraki. <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/Nairobi-International-Convention-on-the-Removal-of-Wrecks.aspx>
- NOAA (2013). *Resource Protection – Potentially Polluting Wrecks in U.S. Waters* (program RULET) oraz *New NOAA report examines national oil pollution threat from shipwrecks*. <https://sanctuaries.noaa.gov/protect/ppw/> ; <https://www.noaa.gov/new-noaa-report-examines-national-oil-pollution-threat-shipwrecks>
- Michel J. & Schmidt S. (2024). *Methodology for Assessing the Risk from Potentially Polluting Wrecks*. W: *Potentially Polluting Wrecks: A Handbook for Public Authorities and the Salvage Industry*, Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-57960-8_11
- Mulligan, C. N., Fukue, M., & Sato, Y. (2010). *Sediments Contamination and Sustainable Remediation*. CRC Press / IWA Publishing
- Perelo, L.W. (2010). Review: In situ and bioremediation of organic pollutants in aquatic sediments. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1–3), 81–89
- U.S. EPA, 2005. *Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites*. EPA-540-R-05-012, OSWER 9355.0-85. United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC.
- U.S. Navy Salvage Manual. 2006. *Volume 1: Strandings and Harbor Clearance*. S0300-A6-MAN-010, Revision 1. Commander, Naval Sea Systems Command. 30 September 2006