

Inwestor (Zamawiający) 	Wykonawca:  Grupa GeoFusion widzimy więcej		
Program:	Krajowy Plan Odbudowy i Zwiększania Odporności, Komponent B3.2.1 - „Inwestycje w neutralizację zagrożeń oraz odnowę wielkoobszarowych terenów zdegradowanych i Morza Bałtyckiego”		
Projekt:	„Działania pomiarowe oraz badawcze dotyczące rozpoznania i ewentualnej neutralizacji materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego dla lokalizacji w obszarze: Część 1 - wrak statku Stuttgart, Część 2 – wrak statku Stuttgart, Część 3 - Głębia Gdańska, Część 4 - Rynna Słupska” Część 2. Zamówienia, Wrak statku Stuttgart		
Wydawca dokumentu: Grupa GeoFusion Sp. z o.o. ul. Akacjowa 43, 32-065 Nowa Góra			
Plan neutralizacji określający planowane metody neutralizacji zalanych materiałów niebezpiecznych, z uwzględnieniem wpływu planowanej działalności m. in. na stan środowiska morskiego. Wrak S/S Stuttgart, Zatoka Gdańska Część I			
Data dokumentu	Język dokumentu	Format dok.	Skala dok.
	PL	A4	nie dotyczy
Zastępuje dokument	Oznaczenie umowy	Podwykonawca dokumentu	
Nd.	PM.372.2.2025.JG	nie dotyczy	
Opracowali: Benedykt Hac, Adam Cygał, Damian Węgliński, Dominika Adaszek, Gabriel Ząbek, Marcin Świąszek, Maria Barmuta, Milena Ruszczyk.		Zatwierdził: Łukasz Porzuczek	
Historia zmian			

Data dokumentu	Opracował	Sprawdził	Zatwierdził	Zakres zmian
24.11.2025	B.Hac		Łukasz Porzuczek	Wersja podstawowa
30.12.2025	B.Hac		Łukasz Porzuczek	Po wstępnej weryfikacji
30.01.2026	B.Hac		Łukasz Porzuczek	Wersja końcowa uwzględniająca proponowane korekty UM
28.03.2026	B.Hac	B.Hac	Łukasz Porzuczek	Korekty wprowadzone w odniesieniu na pismo PM2_086_9_2026_MWG_GeoFusionz dnia 27.03.2026

DOKUMENTACJA POWIĄZANA

Lp.	Tytuł	Numer referencyjny	Data wydania
1	Opis przedmiotu zamówienia	Załącznik nr 1 do Umowy nr PM.372.2.2025.JG	11.03.2025 r.
2.	Pełne dane o historii i budowie SS Stuttgart	ZAŁĄCZNIK NR 1	25.01.2026 r.
3	Miny i torpedy znalezione w trakcie trwania projektu	ZAŁĄCZNIK NR 2	25.01.2026 r.
4.	Analiza prawno-regulacyjna	ZAŁĄCZNIK NR 3	25.01.2026 r.
5.	Badanie wraków, Neutralizacja zagrożeń – techniki, sprzęt, ceny	ZAŁĄCZNIK NR 4	25.01.2026 r.
6.	Szacowanie kosztów oczyszczania	ZAŁĄCZNIK NR 5	25.01.2026 r.
7.	Szacowanie ryzyka	ZAŁĄCZNIK NR 6	25.01.2026 r.
8.	Interesariusze	ZAŁĄCZNIK NR 7	25.01.2026 r.



INFORMACJE O PROJEKCIE

Projekt:	Działania pomiarowe oraz badawcze dotyczące rozpoznania i ewentualnej neutralizacji materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego dla lokalizacji: „wrak S/S „Stuttgart”
Cel projektu:	Ocena stanu skażenia w rejonie wraku, wskazanie metod i środków poprawy istniejącego stanu.
Obszar pomiarowy:	Zatoka Gdańska
Wykonawca:	Grupa Geofusion sp. z o.o.
Zamawiający:	Skarb Państwa -Urząd Morski w Gdyni
Zakres pomiaru:	Badania prądów morskich oraz pomiary hydrograficzne i geofizyczne, ocena stanu skażenia środowiska, ocena istniejących metod oczyszczania skażonych gruntów morskich, propozycja technologii oczyszczania.
Okres realizacji:	I etap do 14.05.2025 II etap do 31.12.2025
Jednostki pomiarowe:	R/V BADACZ 2, R/V BADACZ 3,
Kierownik Projektu:	dr inż. Benedykt Hac

Proponowana struktura dokumentu:



SPIS TREŚCI

INFORMACJE O PROJEKCIE	3
DEFINICJE SKRÓTÓW I POJĘĆ	9
SPIS RYSUNKÓW	12
1 WPROWADZENIE.....	16
1.1 Tło problemu (synteza)	16
1.2 Rola Planu Neutralizacji Zagrożeń (PNZ)	17
1.3 Cele Planu Neutralizacji Zagrożeń	17
1.4 Metodyka opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń	19
1.5 Kluczowe założenia i ograniczenia Planu Neutralizacji Zagrożeń	20
1.5.1 PNZ jako projekt zarządzania ryzykiem, nie eliminacji ryzyka	20
1.5.2 Ograniczenia i niepewności	21
1.5.3 Założenie podejścia adaptacyjnego	21
1.5.4 Realistyczne oczekiwania	22
1.5.5 Konsekwencje dla interesariuszy	22
Część I.....	23
2 ZATOPIONE MATERIAŁY NIEBEZPIECZNE	23
2.1 Definicja neutralizacji ryzyka zagrożeń powodowanych przez paliwa we wrakach oraz rozlewów z wraków	23
2.2 Definicja neutralizacji ryzyka zagrożeń dla UXO	24
2.3 Opis i ocena stanu	24
2.4 S/S „Stuttgart” Lazarettsschiff „C” – charakterystyka i losy	25
2.4.1 Najważniejsze parametry statku S/S Stuttgart	25
2.5 Opis lokalizacji wraku	30
2.5.1 Miny i torpedy znalezione w pobliżu wraku S/S Stuttgart	31
2.5.2 Najważniejsze cechy obiektów niebezpiecznych (pUXO) – min i torped znalezionych w rejonie wraku „Stuttgart”	34
2.5.3 Stan wraku	38
2.6 Wpływ na środowisko	39
2.6.1 Lokalizacja i morfologia dna	39
2.6.2 Użytkowanie i zagrożenia antropogeniczne	41
2.6.3 Wpływ na środowisko naturalne - podsumowanie	43
2.6.4 Szczegółowy opis wpływu różnych rodzajów paliw na środowisko	45
2.6.5 Przewidywane zmiany stanu w przyszłości	48
3 ASPEKTY PRAWNE I REGULACYJNE.....	50
3.1 Kontekst i znaczenie Morza Bałtyckiego dla sprawy „S/S „Stuttgart””	50
3.1.1 Szczegółowa analiza statusu prawnego wraku „Stuttgart”	50

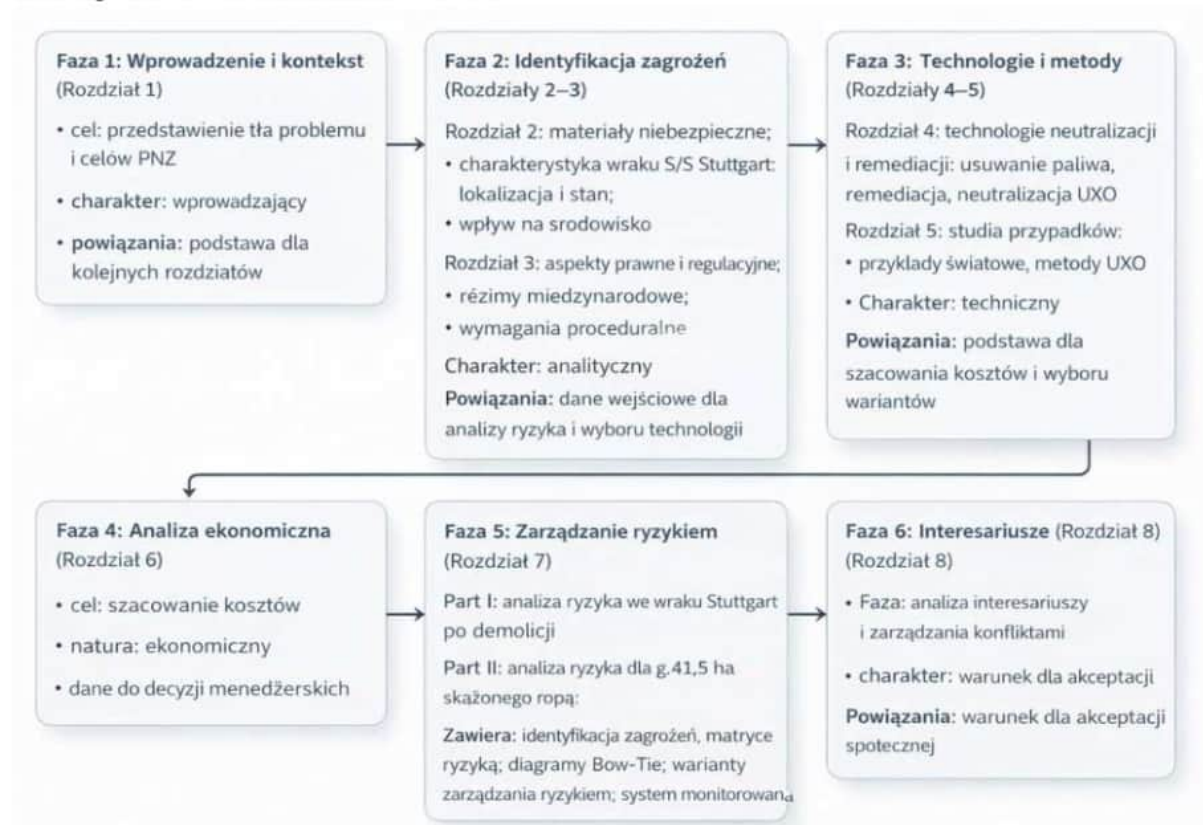
3.1.2	Własność i immunitet – „statek państwowy” vs porzucone mienie	50
3.2	Stan środowiska i rozpoznane zagrożenia związane ze „Stuttgartem”	56
3.3	Wymagania proceduralne i techniczne dla ewentualnych działań przy „Stuttgarcie”	56
3.4	Monitoring, raportowanie i współpraca	57
3.5	Odpowiedzialność i luki systemowe	57
3.6	Dokumenty, zalecenia i tabele kluczowe dla „S/S „Stuttgart”” (wyłącznie dot. Bałtyku)	58
3.7	Rekomendowany tok postępowania dla „S/S „Stuttgart”” (ramowy).....	59
3.8	Kluczowe wnioski dla „S/S „Stuttgart”” w Bałtyku.....	59
4	TECHNOLOGIE NEUTRALIZACJI I REMEDIACJI SKAŻENIA PALIWEM	61
4.1	Ogólny schemat badania wraku	61
4.2	Usuwanie paliwa z wraków	61
4.2.1	Usuwanie Wraków	63
4.2.2	Grodza (<i>Cofferdam</i>).....	64
4.2.3	Uszczelnianie Wycieków	65
4.2.4	Nakrywanie (<i>Capping</i>).....	66
4.3	Remediacja gruntu skażonego paliwem	68
4.3.1	Metody <i>in situ</i>	68
	Usuwanie Skażonych Osadów.....	68
4.3.2	Nakrywanie (<i>Capping</i>).....	69
4.3.3	Bioremediacja	71
4.3.4	Bioaugmentacja.....	71
4.4	Metody <i>ex situ</i>	73
4.4.1	Desorpcja Termiczna	73
4.5	Neutralizacja amunicji konwencjonalnej we wrakach lub w otoczeniu wraków.....	77
4.5.1	Likwidacja zagrożenia w miejscu zalegania.....	79
4.6	Podsumowanie	85
5	STUDIA PRZYPADKÓW	87
5.1	Pełne usunięcie wraku przez cięcie i podnoszenie (<i>cut & lift</i>).....	87
5.2	<i>Capping</i> wraków (przykrywanie warstwami ochronnymi)	87
5.3	Remediacja osadów (pogłębianie, <i>capping</i> , bioremediacja).....	87
5.4	Przypadek mieszany:.....	88
5.5	Usuwanie niewybuchów – omówienie metod.....	89
5.5.1	Detonacja/Deflagracja <i>In Situ</i> (Low-Order/High-Order)	89
5.5.2	Relokacja i Wydobywanie (<i>Recovery</i>) – „Sondaż, Inspect, Remove”	91
5.5.3	Neutralizacja Przez Unikanie (<i>Avoidance</i> /ALARP Bez Ingerencji)	91
5.5.4	Dodatkowe Metody Neutralizacji UXO	91
6	SZACOWANIE KOSZTÓW.....	93

6.1	Szacowanie kosztów całych operacji usuwania paliwa	93
6.1.1	Analiza danych historycznych	93
6.1.2	Czynniki kształtujące koszty	93
6.1.3	Koszty techniczne i operacyjne	94
6.2	Koszty dodatkowe prowadzenia prac związanych z przygotowaniem i prowadzeniem prac oczyszczania wraków z paliwa.....	99
6.3	Koszt prowadzenia prac nurkowych.....	100
6.4	Koszt prowadzenia prac spawalniczych pod wodą.....	102
6.5	Inne koszty związane z oczyszczaniem wraków nie związane z nurkowaniem i spawaniem	103
6.6	Biblioteka stawek” (EUR, Bałtyk) z korektami lokalnymi.....	104
6.7	Walidacja komercyjna kosztów i analiza łańcucha dostaw	105
6.7.1	Procedura komercyjnej walidacji kosztów (RFI/RFQ)	105
6.7.2	Analiza dostępności instalacji utylizacyjnych	106
6.7.3	Ryzyka łańcucha dostaw (supply chain risks)	108
6.7.4	Rekomendacje proceduralne	110
6.8	Całkowity szacunek kosztów projektu Stuttgart – podsumowanie	110
7	KOMPLEKSOWA ANALIZA RYZYKA I ZARZĄDZANIE RYZYKIEM	111
7.1	STAN OBECNY WRAKU „STUTTART” PO DEMOLICJI - CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA KONTEKSTU	113
7.1.1	Położenie wraku „Stuttgart” w Zatoce Gdańskiej.....	113
7.1.2	Status prawny i środowiskowy obszaru	114
7.1.3	Charakterystyka demolicji/ingerencji we wrak.....	114
7.2	IDENTYFIKACJA POTENCJALNYCH ZAGROŻEŃ (HAZARD IDENTIFICATION)	115
7.2.1	Źródła ryzyka - systematyczna identyfikacja	115
7.2.2	Kategoryzacja zagrożeń.....	116
7.3	ANALIZA NARAŻENIA RECEPTORÓW.....	117
7.3.1	Identyfikacja kluczowych receptorów wrażliwych	117
7.3.2	Wpływ demolicji na ekspozycję.....	118
7.4	SZACOWANIE RYZYKA (MACIERZ RYZYKA)	119
7.4.1	Metodyka oceny.....	119
7.4.2	Macierz ryzyka:.....	119
7.4.3	Ocena scenariuszy ryzyka.....	120
7.4.4	Perspektywa czasowa ryzyka.....	120
7.5	OCENA NIEPEWNOŚCI I LUK W DANYCH.....	121
7.5.1	Identyfikacja luk w danych.....	121
7.5.2	Wpływ niepewności na decyzje zarządcze	121
7.6	Analiza barier krytycznych (Bow-Tie) – Safety Case	122
7.6.1	Scenariusz BT-1: Nagłe, niekontrolowane uwolnienie dużej ilości paliwa z wraku	122

7.6.2	Scenariusz BT-2: Wtórna resuspensja i rozprzestrzenianie zanieczyszczeń podczas prac re- mediacyjnych	124
7.6.3	Scenariusz BT-3: Incydent z niewybuchem (UXO) podczas prac remediacyjnych (SIMOPS – Simultaneous Operations)	125
7.6.4	Synteza – zarządzanie barierami	127
7.7	STRATEGIE ZARZĄDZANIA RYZYKIEM	128
7.7.1	Wariant A: „NO ACTION” - Pozostawienie z monitoringiem	128
7.7.2	Wariant B: Ograniczenie rozprzestrzeniania (Containment)	128
7.7.3	Wariant C: Intensywna interwencja	129
7.7.4	System monitoringu	130
7.8	REKOMENDACJE STRATEGICZNE	131
7.8.1	Zalecany wariant postępowania	131
7.8.2	Uzasadnienie wyboru	132
7.8.3	Konieczność współpracy instytucjonalnej	132
8	ANALIZA RYZYKA DLA 41,5 HEKTAROWEGO OBSZARU SKAŻONEGO DLA MORSKIEGO - OPIS OBSZARU I CHARAKTER SKAŻENIA	133
8.1.1	Charakterystyka geograficzna	133
8.1.2	Zróźnicowanie skażenia	133
8.1.3	Pochodzenie skażenia	134
8.2	IDENTYFIKACJA ZAGROŻEŃ WYNIKAJĄCYCH ZE SKAŻENIA	135
8.2.1	Charakterystyka toksykologiczna paliwa ciężkiego	135
8.2.2	Mechanizmy oddziaływania na środowisko	135
8.2.3	Skutki dla poszczególnych grup organizmów	135
8.3	ANALIZA NARAŻENIA I RECEPTORÓW (SKALA 41,5 HA)	136
8.3.1	Funkcje ekosystemu obszaru	136
8.3.2	Powiązania hydrodynamiczne	136
8.3.3	Intensywność użytkowania	136
8.4	SCENARIUSZE ROZWOJU SYTUACJI	136
8.4.1	Scenariusz I: Bezczynność (naturalne procesy)	136
8.4.2	Scenariusz II: Łagodne ingerencje - Izolacja (Capping)	137
8.4.3	Scenariusz III: Intensywna remediacja	137
8.4.4	OCENA RYZYKA DLA 41,5 HA	141
8.5	ZARZĄDZANIE RYZYKIEM - WARIANTY DLA 41,5 HA	142
8.5.1	Środki minimalizacji ryzyka wtórnego	142
8.5.2	Koszty środowiskowe, społeczne i ekonomiczne	143
8.6	SYSTEM MONITORINGU I ADAPTACYJNEGO ZARZĄDZANIA	143
8.6.1	Program monitoringu dla 41,5 ha	143
8.6.2	Podjęcie adaptacyjne	143

8.6.3	Procedury operacyjne monitoringu adaptacyjnego	144
8.7	WNIOSKI KOŃCOWE I REKOMENDACJE	146
8.7.1	Podsumowanie zagrożeń i poziomów ryzyka	146
8.7.2	Priorytety działań	146
8.7.3	Rekomendacje dla instytucji	146
8.8	Zapewnienie ciągłości monitoringu długoterminowego – mechanizmy finansowania i odpowiedzialności	147
8.8.1	Mechanizm 1: Fundusz celowy monitoringu długoterminowego	147
8.8.2	Mechanizm 2: Umocowanie odpowiedzialności instytucjonalnej	148
8.8.3	Mechanizm 3: Exit strategy – warunki zakończenia/redukcji monitoringu	149
8.8.4	Mechanizm 4: Transparentność i rozliczalność	149
9	UDZIAŁ INTERESARIUSZY W PNZ DLA WRAKU STUTTGART	151
9.1	Interesariusze w obrębie Zatoki Gdańskiej	151
9.2	Główni interesariusze.....	153
9.3	Możliwe konflikty między interesariuszami	155
9.3.1	Szczegółowe scenariusze konfliktów i strategie mitygacji.....	156
9.3.2	Plan utrzymania licencji społecznej do prowadzenia projektu	160

Rzeczywista struktura dokumentu



DEFINICJE SKRÓTÓW I POJĘĆ

Skrót	Rozwinięcie (EN)	Znaczenie (PL)
AA	Appropriate Assessment (Habitats Directive)	Ocena oddziaływania na obszar Natura 2000 (tzw. „ocena habitatowa”)
ALARP	As Low As Reasonably Practicable	Tak nisko, jak to racjonalnie osiągalne
AMBI	AZTI Marine Biotic Index	Wskaźnik biotyczny AMBI
AUV	Autonomous Underwater Vehicle	Autonomiczny pojazd podwodny
BAT	Best Available Techniques	Najlepsze dostępne techniki
BEP	Best Environmental Practice	Najlepsze praktyki środowiskowe
BHMW	Hydrographic Office of the Polish Navy	Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej
BIP	Blow in Place	Unieszkodliwienie na miejscu
Bow-Tie	Bow-Tie Analysis,	analiza muszki” - ze względu na kształt diagramu przypominający muszkę
BRT (GRT)	Gross Register Tonnage	Tonaż rejestrowy brutto
BSAP	Baltic Sea Action Plan	Bałtycki Plan Działań (HELCOM)
CAPEX / OPEX	Capital Expenditure / Operating Expenditure	Nakłady inwestycyjne / koszty operacyjne
CHIRP	Compressed High-Intensity Radiated Pulse	Technika sygnału sonarowego CHIRP
CJEU / TSUE	Court of Justice of the European Union	Trybunał Sprawiedliwości UE
CTD	Conductivity, Temperature, Depth	Sonda CTD
DAF	Deutsche Arbeitsfront (German Labour Front)	Niemiecki Front Pracy
DGPS	Differential Global Positioning System	Różnicowy GPS
DIFIS	Double Inverted Funnel for the Intervention on Shipwrecks	Pasywny system przechwyty wycieków
DPR	Working Design Documentation	Dokumentacja Projektowa Robocza
E-DBA / E-BDA	Enhanced Desk-Based Assessment	Rozszerzona analiza „desk-based”
EEZ (WSE)	Exclusive Economic Zone	Wyłączna strefa ekonomiczna
EMSA	European Maritime Safety Agency	Europejska Agencja Bezpieczeństwa Morskiego
ENC	Electronic Navigational Chart	Elektroniczna mapa nawigacyjna
EOD	Explosive Ordnance Disposal	Neutralizacja materiałów wybuchowych
EPA (US EPA)	United States Environmental Protection Agency	Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska
EPSG	EPSG Geodetic Parameter Dataset	Zbiór danych EPSG / kody układów odniesienia
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis	Analiza rodzajów i skutków uszkodzeń
GDOŚ / RDOŚ	General / Regional Directorate for Environmental Protection	Generalna / Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska
GES / subGES	Good Environmental Status / below GES	Dobry stan środowiska / poniżej dobrego stanu
GMDSS	Global Maritime Distress and Safety System	Światowy morski system łączności alarmowej
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globalny system nawigacji satelitarnej
HBM	Hexa-Beam Mode	Tryb sześciowiązkowy (SBP)
HELCOM	Helsinki Commission	Komisja Helsińska
HFO	Heavy Fuel Oil	Ciężki olej opałowy (paliwo ciężkie)
HMX	High Melting Explosive	Materiał wybuchowy HMX
HSE	Health, Safety, Environment	BHP i środowisko

Skrót	Rozwinięcie (EN)	Znaczenie (PL)
ICS / UC	Incident Command System / Unified Command	System zarządzania incydem / dowodzenie zintegrowane
IMAS	International Mine Action Standards	Międzynarodowe standardy działań przeciwmicznych
IMO	International Maritime Organization	Międzynarodowa Organizacja Morska
IMU	Inertial Measurement Unit	Inercyjna jednostka pomiarowa
INS	Inertial Navigation System	Inercyjny system nawigacyjny
IOGP	International Association of Oil & Gas Producers	Międzynarodowe stowarzyszenie producentów ropy i gazu
ISO	International Organization for Standardization	Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna
KBT	Kriegstagebuch	Dziennik wojenny
KdF	Kraft durch Freude	„Siła przez radość”
KPO	National Recovery and Resilience Plan	Krajowy Plan Odbudowy i Zwiększania Odporności
LC / LP	London Convention 1972 / London Protocol 1996	Konwencja londyńska / Protokół londyński
LLMC	Convention on Limitation of Liability for Maritime Claims	Konwencja o ograniczeniu odpowiedzialności za roszczenia morskie
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships	Konwencja o zapobieganiu zanieczyszczeniu morza przez statki
MBES	Multibeam Echosounder	Echosonda wielowiązkowa
MCM	Mine Countermeasures	Działania przeciwmiczne
MDO	Marine Diesel Oil	Morski olej napędowy
MMSI	Maritime Mobile Service Identity	Numer identyfikacyjny służby ruchomej morskiej
MOSG	Maritime Unit of the Border Guard	Morski Oddział Straży Granicznej
MPR	Monthly Work Plan	Miesięczny Plan Robót
MSFD	Marine Strategy Framework Directive	Dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej
NATO STA-NAG	NATO Standardization Agreement	Porozumienie normalizacyjne NATO
NATURA 2000	Natura 2000 network	Europejska sieć obszarów chronionych Natura 2000
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health	Narodowy Instytut Bezpieczeństwa i Higieny Pracy (USA)
NTSB	National Transportation Safety Board	Narodowa Rada Bezpieczeństwa Transportu (USA)
OOŚ	(Environmental impact assessment procedure)	Ocena oddziaływania na środowisko
PCB	Polychlorinated Biphenyls	Polichlorowane bifenyle (PCB)
PF	Primary Frequency	Częstotliwość podstawowa (SBP)
PHMSA	Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration	Administracja ds. rurociągów i materiałów niebezpiecznych (USA)
PNZ	(Project term) Hazard Neutralization Plan	Plan Neutralizacji Zagrożeń
POLREP / POLWARN	Pollution Report / Warning	Meldunki i ostrzeżenia o zanieczyszczeniach
POSMV	Position and Orientation System for Marine Vessels	System pozycjonowania i orientacji jednostek morskich
PRO	Polish Salvage Service / Company	Polskie Ratownictwo Okrętowe
PRS	Polish Register of Shipping	Polski Rejestr Statków

Skrót	Rozwinięcie (EN)	Znaczenie (PL)
PUWG 92	Polish National Coordinate System 1992	Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych 1992
QBM	Quad-Beam Mode	Tryb czterowiązkowy (SBP)
QHSE	Quality, Health, Safety, Environment	Jakość, zdrowie, bezpieczeństwo i środowisko
R/V	Research Vessel	Statek badawczy
RDX	Research Department Explosive	Materiał wybuchowy RDX
ROD	Record of Decision	Decyzja administracyjna dot. remediacji (USA)
ROV / WROV	Remotely Operated Vehicle	Zdalnie sterowany pojazd podwodny
RTK	Real-Time Kinematic	Pozycjonowanie RTK
SAR	Search and Rescue; (Synthetic Aperture Radar)	Poszukiwanie i ratownictwo; (Radar z syntetyczną aperturą)
SBM	Single-Beam Mode	Tryb jednowiązkowy (SBP)
SBP	Sub-Bottom Profiler	Profilomierz osadów / sejsmoakustyczny
SES	Sediment Echo Sounder	Echosonda/profilomierz osadów
SIMOPS	Simultaneous Operations	Równoczesne prowadzenie prac
SLF	Secondary Low Frequency	Dodatkowa niska częstotliwość (SBP)
SOP	Standard Operating Procedure	Standardowa procedura operacyjna
SSS	Side Scan Sonar	Sonar boczny
TNT	Trinitrotoluene	Trotyl (TNT)
ton	tonne (t) / metric ton	tona (t), 1000 kg
TPH	Total Petroleum Hydrocarbons	Węglowodory ropopochodne ogółem
UCH	Underwater Cultural Heritage	Podwodne dziedzictwo kulturowe
UNCLOS	United Nations Convention on the Law of the Sea	Konwencja ONZ o prawie morza
UNMAS	United Nations Mine Action Service	Służba ONZ ds. działań przeciwmìnowych
USBL	Ultra-Short Baseline	Ultrakrótkobazowy system pozycjonowania
UTM	Universal Transverse Mercator	Poprzeczne odwzorowanie Merkatora (UTM)
UXO	Unexploded Ordnance	Niewybuchy / amunicja niewybuchta
VRAKA	VRAKA (risk assessment model name)	Model probabilistycznej oceny ryzyka wraków
WFD	Water Framework Directive	Ramowa Dyrektywa Wodna
WGS84	World Geodetic System 1984	Światowy System Geodezyjny 1984
WPR	Preliminary Work Plan	Wstępny Plan Robót
WWA (PAH)	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1 No.384 Stuttgart launched in 1923 (The World's PaS/Sanger Ships) – źródło: <i>www. Ship-history.com</i>	26
Rysunek 2 Stuttgart (Schiff, 1924) – źródło: <i>Wikipedia</i>	26
Rysunek 3 S/S Stuttgart w Kopenhadze (koloryzowane) Zdjęcie archiwalne z Bundesarchiv (sygn. Bild 1011-696-0429-34)	26
Rysunek 4 S/S Stuttgart vintage postcard reproduction Norddeutscher – źródło : <i>www.eatsy.com</i>	26
Rysunek 5 Fotografia lotnicza przedstawia fragment bazy Kriegsmarine w porcie gdyńskim bezpośrednio po nalocie samolotów amerykańskich. Zdjęcie zostało wykonane przez samolot aliancki. W dolnej części fotografii widoczny jest płonący okręt szpitalny S/S „Stuttgart”. http://www.balticwrecks.com	28
Rysunek 6 Rekonstrukcja wizualna płonącego okrętu szpitalnego Stuttgart wykonane przy użyciu narzędzi AI (IdeogramAI) w oparciu o oryginalne zdjęcie statku w porcie Gdynia ze strony http://www.balticwrecks.com oraz https://www.feldgrau.com/WW2-Germany-The-Stuttgart-Lazarettsschiff	28
Rysunek 7 Ostatnie znane zdjęcie SS Stuttgart – odrestaurowane z użyciem AI	29
Rysunek 8 Obraz pozostałości wraku S/S Stuttgart – źródło UM Gdynia	29
Rysunek 9 Lokalizacja wraku Stuttgart (fragment mapy nawigacyjnej)	30
Rysunek 10 Plan profili pomiarowych dla projektu Stuttgart, wg. którego wykonano pomiary	31
Rysunek 11 Obszar wokół lokalizacji wraku Stuttgart Źródło: opracowanie własne na podstawie komórki mapy nawigacyjnej ENC, BHMW	32
Rysunek 12 Plan obszaru, na którym dokonano dokładnego rozpoznania obiektów niebezpiecznych (UXO) oraz wraku Stuttgart i innych wraków w otoczeniu.	33
Rysunek 13 Mozaika sonarowa z naniesionymi obiektami niebezpiecznymi (2025)	33
Rysunek 14 Mozaika sonarowa wraku wysokiej rozdzielczości wraku Stuttgart (2025)	34
Rysunek 15 Diagram pokazujący wszystkie aktualnie stosowane metody usuwania paliwa z wraków	62
Rysunek 16 Diagram metod remediacji skażonego gruntu/osadów	68
Rysunek 17 Porównanie metod: Koszt vs. Skuteczność	76
Rysunek 18 Diagram Metod Neutralizacji amunicji konwencjonalnej i chemicznej	77
Rysunek 19 IDENTYFIKACJA POTENCJALNYCH ZAGROŻEŃ (HAZARD IDENTIFICATION) — wrak S/S „Stuttgart” (źródła ryzyka → mechanizmy emisji → kategorie E/T/H/S → kluczowe receptory)	117
Rysunek 20 „ANALIZA NARAŻENIA RECEPTORÓW — wrak S/S „Stuttgart” + obszar skażony 41,5 ha” (źródła → media/nośniki → mechanizmy ekspozycji → receptory ekologiczne i antropogeniczne + pasek czynników modulujących i legenda poziomów narażenia).	118
Rysunek 21 Macierz ryzyka (ISO 31000 / E-DBA) dla skali z dokumentu (P: 1–3, S: 1–4), z kolorami poziomów ryzyka oraz zaznaczonymi scenariuszami:	119
Rysunek 22 Diagram Bow-Tie BT-1 dla sytuacji: Nagłe, niekontrolowane uwolnienie dużej ilości paliwa z wraku	123
Rysunek 23 Diagram Bow-Tie BT-1 dla Wtórna resuspensja i rozprzestrzenianie zanieczyszczeń podczas prac re- mediacyjnych	125
Rysunek 24 Diagram Bow-Tie BT-1 dla Incydent z niewybuchem (UXO) podczas prac remediacyjnych (SIMOPS – Simultaneous Operations)	127
Rysunek 25 STRATEGIE ZARZĄDZANIA RYZYKIEM — wrak S/S „Stuttgart” (warianty A, B, C oraz C2)	131
Rysunek 26 Strategia zarządzania ryzykiem — WRAK S/S „Stuttgart” (etapy 1–3 + monitoring + reagowanie kryzysowe)	132
Rysunek 27 Mapa wydzielenia obszarów o różnych poziomach skażenia gruntu (w skali 5 stopniowej).	133
Rysunek 28 Mapa wydzielenia obszarów o różnych poziomach skażeń według skali przyjętej do dalszego przetwarzania w ramach zakładanego działania w PNZ.	134
Rysunek 29 Strategia zarządzania ryzykiem — OBSZAR SKAŻONY 41,5 ha (strefowanie A/B/C + środki minimalizacji ryzyka wtórnego + monitoring/progi)	140

Rysunek 30 Macierz ryzyka dla obszaru skażonego 41,5 ha z naniesionymi priorytetami receptorów, w tym:	142
Rysunek 31 Schemat decyzyjny:	144
Rysunek 32 Poniższy diagram przedstawia kluczowe relacje między głównymi grupami interesariuszy...	162
Rysunek 33 Mapa ryzyk, skupiająca się na potencjalnych konfliktach, napięciach i wyzwaniach w relacjach pomiędzy głównymi grupami	163

Spis tabel

Tabela 1 Zestawienie parametrów technicznych statku S/S Stuttgart	25
Tabela 2 Współrzędne lokalizacji wraku s/s „Stuttgart”	30
Tabela 3 Współrzędne zaplanowanego obszaru badawczego w rejonie pozostałości wraku Stuttgart	31
Tabela 4 Wykaz UXO wytypowanych do sprawdzenia ROV-video	32
Tabela 5 Wykaz obiektów niebezpiecznych znalezionych w okolicy wraku S/S Stuttgart	34
Tabela 6 Parametry techniczne min morskich z okresu II wojny światowej	35
Tabela 7 Parametry techniczne niemieckich torped z okresu II wojny światowej	35
Tabela 8. Kluczowe różnice w zachowaniu i właściwościach emulsji.	47
Tabela 9 Reżimy i znaczenie dla „Stuttgart”	58
Tabela 10. Kluczowe zalety i ograniczenia metody Usuwanie Wraków	63
Tabela 11 Kluczowe Zalety i Ograniczenia metody Grodzy	64
Tabela 12. Kluczowe zalety i ograniczenia metody Uszczelnianie Wycieków	65
Tabela 13 Syntetyczne zestawienie zalet i wad metody cappingu	67
Tabela 14. Kluczowe zalety i ograniczenia metody Usuwanie Skażonych Osadów	68
Tabela 15. Kluczowe zalety i ograniczenia metody Nakrywanie (Capping)	70
Tabela 16 Kluczowe zalety i ograniczenia metody Bioremediacji	72
Tabela 17 Kluczowe zalety i ograniczenia metody Desorpcji Termicznej	74
Tabela 18 Kluczowe zalety i ograniczenia metody Mycia Gruntu	75
Tabela 19 Zestawienie metod usuwania paliwa z wraków i remediacji skażonych osadów	75
Tabela 20 Zestawienie metod remediacji skażonych osadów	76
Tabela 21 Kluczowe zalety i ograniczenia metody Detonacja	80
Tabela 22. Kluczowe zalety i ograniczenia metody Deflegracja	81
Tabela 23. Kluczowe zalety i ograniczenia metody wydobywania i neutralizacji	84
Tabela 24. Podsumowanie głównych metod neutralizacji/remediacji zagrożeń występujących na opisywanym obszarze.	85
Tabela 25 Zestawienia kosztów w cenach wykonania oraz cenach odniesionych do roku 2025 (EUR 2025)	88
Tabela 26 Zestawienia Tabelaryczne Metod Neutralizacji UXO	92
Tabela 27 Skonsolidowane dane dotyczące kluczowych operacji i programów, przedstawia zestawienie kosztów najważniejszych operacji usuwania paliwa z zatopionych jednostek	96
Tabela 28 Operacje usuwanie paliw (defueling)	98
Tabela 29 Pełne usunięcie wraku (Cut & Lift)	98
Tabela 30 Capping (izolacja in-situ)	98
Tabela 31 Remediacja osadów / Reakcje na wyciek (nieporównywalne do defuelingu)	98
Tabela 32 Podstawowe kategorie dodatkowych kosztów usuwania paliwa z wraków	99
Tabela 33 Główne czynniki wpływające na koszty.	100
Tabela 34 Szacunkowe koszty prac nurkowych wg głębokości.	100
Tabela 35 Nota metodyczna – dzienna stawka spreadów (orientacyjnie):	100
Tabela 36 Dodatkowe koszty związane z pracami nurkowymi	101
Tabela 37 Regionalne różnice w kosztach	101
Tabela 38 Wybrane studia przypadków (z nurkami / ROV)	101
Tabela 39 Czynniki wpływające na stawki spawania podwodnego.	102
Tabela 40 Typowe stawki spawania podwodnego i koszty dodatkowe.	102

Tabela 41 Dodatkowe koszty operacji ze spawaniem podwodnym.	103
Tabela 42 Przykładowe scenariusze kosztowe	103
Tabela 43 Zestawienie kosztów globalnych innych niż nurkowanie	103
Tabela 44 Wybrane ceny dzienne jednostek, urządzeń używanych w procesie usuwania paliwa z wraków.	104
Tabela 45 Całkowity szacunek kosztów projektu Stuttgart – podsumowanie (<i>ceny w PLN 2025 oraz w EUR wg kursu 31.12.2025: 1 EUR = 4,2267 PLN</i>)	110
Tabela 46 Paliwo resztkowe	115
Tabela 47 ZAGROŻENIA ŚRODOWISKOWE	116
Tabela 48 ZAGROŻENIA TECHNICZNE/INŻYNIERYJNE	116
Tabela 49 ZAGROŻENIA DLA ZDROWIA LUDZI I BEZPIECZEŃSTWA ŻEGLUGI	116
Tabela 50 ZAGROŻENIA SPOŁECZNE I WIZERUNKOWE	116
Tabela 51 RECEPTORY EKOLOGICZNE.....	117
Tabela 52 RECEPTORY ANTROPOGENICZNE	117
Tabela 53 Zmiany wynikające z demolicji (1955-1957)	118
Tabela 54 Skala prawdopodobieństwa.....	119
Tabela 55 Skala skutków.....	119
Tabela 56 Scenariusz A.....	120
Tabela 57 Scenariusz B.....	120
Tabela 58 Scenariusz C	120
Tabela 59 Zestawienie horyzontów czasowych.....	120
Tabela 60 Luki w danych	121
Tabela 61 Bariery prewencyjne (zapobiegające uwolnieniu):	122
Tabela 62 Bariery mitygacyjne (ograniczające skutki)	123
Tabela 63 Bariery prewencyjne.....	124
Tabela 64 Bariery mitygacyjne	124
Tabela 65 Bariery prewencyjne (BP3)	126
Tabela 66 Bariery mitygacyjne (BM3)	126
Tabela 67 Utrzymanie status quo z wdrożeniem programu monitoringu środowiskowego.	128
Tabela 68 Instalacja barier fizycznych	129
Tabela 69 Podwarianty:.....	129
Tabela 70 Ocena ryzyka wtórnego dla wariantu C2:	129
Tabela 71 Proponowany program monitoringu:	130
Tabela 72 Kryteria wyboru	132
Tabela 73 Współpraca instytucjonalna	132
Tabela 74 Parametry obszaru:	133
Tabela 75 Typ podłoża:	133
Tabela 76 Kluczowe związki i ich właściwości:.....	135
Tabela 77 Mechanizmy oddziaływania	135
Tabela 78 Skutki oddziaływania na organizmy żywe	135
Tabela 79 Opis funkcji ekosystemu.....	136
Tabela 80 Podział badanego obszaru pod kątem intensywności użytkowania	136
Tabela 81 Scenariusz - Bezczynność.....	136
Tabela 82 Scenariusz – łagodne interwencje	137
Tabela 83 Scenariusz A – usuwanie osadów	137
Tabela 84 Scenariusz B -przykrywanie warstwą piasku	138
Tabela 85 Scenariusz C – przykrycie warstwą aktywnych minerałów	138
Tabela 86 Wariant D-A – podejście hybrydowe	140
Tabela 87 Wariant D-B – podejście hybrydowe	141
Tabela 88 Macierz ryzyka	141
Tabela 89 Porównanie wariantów	142

Tabela 90 Minimalizacja ryzyka dla wariantu z dredgingiem:.....	142
Tabela 91 Zestawienie kosztów środowiskowych, społecznych i ekonomicznych	143
Tabela 92 Parametry i częstotliwość:	143
Tabela 93 Progi decyzyjne:	143
Tabela 94 Podsumowanie zagrożeń	146
Tabela 95 Rekomendacje dla administracji morskiej i środowiskowej:	146
Tabela 96 Rekomendacje dla potencjalnych inwestorów w regionie (FSRU, infrastruktura):	147
Tabela 97 Rekomendacje dla służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo i zarządzanie kryzysowe:	147
Tabela 98 Kwadrant I – Zarządzaj blisko	153
Tabela 99 Kwadrant II – Utrzymuj zadowolenie	154
Tabela 100 Kwadrant III – Informuj i angażuj	154
Tabela 101 Kwadrant IV - Monitoruj	155
Tabela 102 Zestawienie interesariuszy	164
Tabela 103 Harmonogram komunikacji.....	165

1 Wprowadzenie

Tło problemu (synteza)

- uzupełnione o wstępne omówienie wyników badania (po realizacji badań).

Cele Planu Neutralizacji Zagrożeń

- minimalizacja ryzyka środowiskowego, ochrona ekosystemów, zapewnienie bezpieczeństwa ludzi oraz umożliwienie podejmowania decyzji dotyczących metod i kosztów neutralizacji zagrożeń.

Syntetyczny opis badanego obszaru (uwarunkowania przyrodnicze oraz użytkowania).

Metodyka opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń.

1.1 Tło problemu (synteza)

Materiały niebezpieczne zatopione na dnie Morza Bałtyckiego stanowią poważne i narastające zagrożenie dla środowiska morskiego, działalności gospodarczej oraz bezpieczeństwa ludzi. Do materiałów tych należą: substancje ropopochodne, paliwa, amunicja konwencjonalna oraz bojowe środki trujące. Problem jest szczególnie istotny na polskich obszarach morskich, gdzie liczne miejsca zatopienia materiałów niebezpiecznych, pochodzących głównie z okresu II wojny światowej, wymagają systemowego podejścia oraz skoordynowanych działań na poziomie krajowym.

W odpowiedzi na to wyzwanie, we wrześniu 2020 roku, decyzją Prezesa Rady Ministrów, powołano Międzyresortowy Zespół do spraw Materiałów Niebezpiecznych Zalegających na Obszarach Morskich. Zadaniem Zespołu jest opracowanie kompleksowego planu działań administracji publicznej w zakresie neutralizacji zagrożeń związanych z obecnością bojowych środków trujących, broni konwencjonalnej, paliw oraz substancji ropopochodnych **zalegających we wrakach na polskich obszarach morskich**. Zespół odpowiada również za analizę kompetencji instytucji publicznych, ocenę ekonomiczną niezbędnych działań, opracowanie harmonogramu ich realizacji, wskazanie podmiotów odpowiedzialnych, przygotowanie założeń systemu monitoringu oraz analizę ryzyka, w tym w kontekście rozwoju morskiej energetyki wiatrowej. Efektem prac Zespołu będą rekomendacje dla Rady Ministrów dotyczące dalszych działań na poziomie krajowym.

Niniejszy raport przedstawia wyniki badań oraz opis zagrożeń dla środowiska morskiego spowodowanych wyciekami paliwa ciężkiego i innymi zanieczyszczeniami pochodzącymi z wraku S/S „Stuttgart”, położonego w Zatoce Gdańskiej, na terenie obszaru chronionego Natura 2000. Raport stanowi szczegółową analizę wpływu wraku S/S „Stuttgart” na środowisko morskie. Analiza ta opiera się na wynikach badań dna morskiego, wody oraz samego wraku, przeprowadzonych w 2025 roku. Badania te zrealizowano w ramach przetargu ogłoszonego przez Urząd Morski w Gdyni, którego celem było wykonanie działań pomiarowych i badawczych dotyczących rozpoznania oraz potencjalnej neutralizacji materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego w lokalizacji wraku statku „Stuttgart”.

Wszystkie dane przedstawione w tej części raportu zostały zebrane w drodze kwerendy w bibliotekach, archiwach oraz **na podstawie** drukowanych źródeł historycznych i **stanowią podstawę analizy przedstawionej w Części I**– ogólna analiza przeprowadzona przed rozpoczęciem badań

środowiskowych. Dane zebrane podczas pomiarów przeprowadzonych zgodnie z postanowieniami przetargu, z zastosowaniem zalecanych metod prowadzenia badań i analizy danych zostały opisane w Części II – szczegółowa analiza uwzględniająca wyniki badań środowiskowych.

Wyniki pomiarów uzyskane w 2025 roku odniesiono do danych z badań przeprowadzonych w 2016 roku, danych historycznych dotyczących wraku oraz aktualnych wniosków naukowych. Oprócz prezentacji wyników badań raport zawiera również opis metod usuwania paliwa z wraku oraz remediacji skażonego gruntu, wraz z odniesieniami do zakresu i kosztów podobnych operacji przeprowadzanych na świecie.

1.2 Rola Planu Neutralizacji Zagrożeń (PNZ)

Dla wsparcia realizacji zadań Zespołu, Urząd Morski w Gdyni realizuje projekt pn. „Rozpoznanie i ewentualna neutralizacja materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego w wybranych lokalizacjach”, finansowany z Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO). Niniejszy Plan Neutralizacji Zagrożeń (PNZ) dla obszaru wraku Stuttgart jest jednym z kluczowych rezultatów tego projektu.

1.3 Cele Planu Neutralizacji Zagrożeń

Plan Neutralizacji Zagrożeń dla wraku S/S „Stuttgart”

Plan Neutralizacji Zagrożeń (PNZ) dla obszaru wraku S/S „Stuttgart” ma na celu określenie ram i priorytetów działań służących **minimalizacji i eliminacji** zagrożeń wynikających z obecności niebezpiecznych materiałów zatopionych na polskich obszarach morskich. Niniejszy dokument definiuje cele, kierunki działań, strukturę odpowiedzialności instytucjonalnej oraz podstawy dla wdrożenia systemu monitoringu i neutralizacji zidentyfikowanych zagrożeń. Stanowi punkt odniesienia dla dalszych decyzji rządowych, w tym przyjęcia długofalowego programu działań na rzecz poprawy bezpieczeństwa ekologicznego i operacyjnego w polskiej strefie morskiej. Ponadto PNZ wspiera realizację zobowiązań Polski wynikających z międzynarodowych konwencji i dyrektyw, takich jak Konwencja Helsińska (HELCOM) oraz Ramowa Dyrektywa Strategii Morskiej (2008/56/WE).

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

Szczegółowe cele Planu Neutralizacji Zagrożeń

Szczegółowe cele PNZ dla obszarów zalegania wraków, w tym wraku S/S „Stuttgart”, obejmują:

- Identyfikację i inwentaryzację zatopionych materiałów niebezpiecznych, ze szczególnym uwzględnieniem amunicji, paliw oraz innych substancji stanowiących zagrożenie dla środowiska i działalności gospodarczej.

- Ocenę ryzyka ekologicznego, zdrowotnego i operacyjnego związanego z zatopionymi materiałami, w tym określenie obszarów o najwyższym poziomie zagrożenia.
- Opracowanie metod oraz planu wdrożenia systemu monitoringu i wczesnego ostrzegania w zakresie uwalniania substancji niebezpiecznych do środowiska morskiego.
- Sformułowanie rekomendacji i wariantów technicznych działań neutralizacyjnych, takich jak wydobywanie, izolacja, stabilizacja in situ lub inne formy zabezpieczenia, uwzględniające aspekty środowiskowe, technologiczne i ekonomiczne.
- Zapewnienie ram dla zarządzania kryzysowego w sytuacjach awaryjnych związanych z przypadkowym uszkodzeniem lub destabilizacją miejsc zatopienia.

Główne cele projektu

Główne cele szerszego projektu, z którego wywodzi się PNZ, obejmują kompleksowe i metodyczne rozwiązanie problemu skażenia w sposób bezpieczny dla środowiska. Cele te obejmują:

- Przygotowanie planu działań dotyczących skażenia paliwem ciężkim z wraku S/S „Stuttgart”.
- Analizę problemu, polegającą na zebraniu i uporządkowaniu danych archiwalnych oraz informacji o miejscach zalegania materiałów niebezpiecznych.
- Ocenę ryzyka środowiskowego, czyli identyfikację rodzaju, skali i obszarów skażenia oraz zagrożeń dalszej degradacji środowiska.
- Minimalizację ryzyka podczas badań poprzez zastosowanie metod pomiarowych i poboru próbek ograniczających wpływ na środowisko.
- Stworzenie systemu monitoringu określającego metody, zakres i częstotliwość pomiarów morskich w celu śledzenia zmian w skażonym obszarze.
- Neutralizację zagrożeń poprzez opracowanie metod likwidacji lub postępowania ze zidentyfikowanymi zagrożeniami.
- Opracowanie planu działań naprawczych jako strategii usuwania skutków skażenia.

Cele działań badawczych

Działania badawcze przeprowadzone w odniesieniu do wraku S/S „Stuttgart” miały na celu dostarczenie kompleksowych danych niezbędnych do skutecznej remediacji skażonego obszaru. Wykonawca badań realizował następujące zadania:

- Ocenę aktualnego stanu skażenia, polegającą na określeniu rodzaju, zasięgu i skutków wycieku paliwa ciężkiego poprzez analizę parametrów wody, osadów i organizmów morskich.
- Identyfikację innych zagrożeń, w tym wykrycie ewentualnych materiałów niebezpiecznych (np. niewybuchów, pozostałości wraków) w wyznaczonym obszarze.
- Analizę zmian jakie zaszły w środowisku od 2016 roku. Zostanie to dokonane poprzez porównanie obecnego stanu środowiska z danymi sprzed dziewięciu lat, w celu zweryfikowania, czy nastąpiła naturalna remediacja gruntu (a jeśli nastąpiła to w jakim stopniu).

- Określenie pozostałości paliwa, czyli ustalenie, czy we wraku nadal znajduje się paliwo oraz czy dochodzi do jego wycieku.
- Mapowanie skażenia dna w celu uzupełnienia danych o zasięgu i głębokości zanieczyszczeń, co umożliwi oszacowanie zakresu koniecznej remediacji.
- Wypracowanie rekomendacji w celu dostarczenia pełnej wiedzy do podejmowania decyzji dotyczących działań naprawczych i technologii remediacji.
- Przygotowanie propozycji działań i kosztorysu, obejmującego metody oczyszczania wraz z analizą kosztów, czasu oraz zalet i wad każdego rozwiązania.

1.4 Metodyka opracowania Planu Neutralizacji Zagrożeń

Plan Neutralizacji Zagrożeń (PNZ) został opracowany na podstawie umowy projektowej (Umowa nr PM.372.2.2025.JG, Skarb Państwa – Dyrektor Urzędu Morskiego w Gdyni – Grupa GeoFusion Sp. z o.o.) z zachowaniem jednolitej struktury, spójnego stylu oraz odpowiedniej terminologii. Każdemu terminowi przypisano jednoznaczne znaczenie, a postanowienia PNZ są wewnętrznie spójne oraz zgodne z obowiązującymi przepisami prawa krajowego i międzynarodowego.

Dokument został opracowany w dwóch etapach:

- Część I – ogólna analiza przeprowadzona przed rozpoczęciem i w trakcie prowadzenia badań środowiskowych;
- Część II – szczegółowa analiza uwzględniająca wyniki badań środowiskowych.

Metodyka przygotowania dokumentu

Metodyka przyjęta na potrzeby opracowania PNZ opiera się na:

- Analizie dokumentów archiwalnych i materiałów źródłowych dotyczących lokalizacji oraz charakterystyki zatopionych materiałów niebezpiecznych, w tym amunicji konwencjonalnej i substancji niebezpiecznych związanych z wrakami.
- Przeglądzie wyników prac badawczo-rozwojowych oraz projektów międzynarodowych, w szczególności badań i analizy zagrożeń dla środowiska morskiego wynikających z obecności wraku S/S „Stuttgart”, wraz z oceną istniejących technologii neutralizacji zagrożeń i możliwości ich zastosowania.
- Analizie porównawczej dostępnych technologii neutralizacji zagrożeń, procedur bezpieczeństwa oraz metod zarządzania ryzykiem.
- Przeglądzie regulacji krajowych i międzynarodowych stanowiących podstawę prawną dla planowania i realizacji działań neutralizacyjnych, obejmujących m.in. wydobycie, transport, neutralizację oraz monitorowanie skutków.
- Studiach przypadków zrealizowanych operacji neutralizacji zagrożeń związanych z wrakami i substancjami chemicznymi.
- Sformułowaniu scenariuszy działań oraz procedur monitorowania i wdrażania PNZ na podstawie aktualnie dostępnej wiedzy i doświadczeń

Charakter i cel dokumentu

PNZ został opracowany z uwzględnieniem wewnętrznych procedur i dobrych praktyk projektowych, w szczególności procedury analizy ryzyka oraz dokumentu Planu QHSE stosowanego w działaniach rozpoznania i neutralizacji materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie morskim.

Dokument ma charakter analityczno-strategiczny i pełni funkcję operacyjnego narzędzia wspierającego podejmowanie decyzji oraz kształtowanie realizacji działań technicznych związanych z neutralizacją zagrożeń, z uwzględnieniem ich wpływu na środowisko, zdrowie ludzi oraz działalność gospodarczą.

PRZEWODNIK DLA CZYTELNIKA: STRUKTURA DOKUMENTU W ZAKRESIE UXO

Ze względu na złożoność tematyki niewybuchów (UXO) i jej kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa prac remediacyjnych, informacje dotyczące UXO rozmieszczone są w kilku rozdziałach niniejszego PNZ:

- **Rozdział 2.1-2.2:** Definicje i koncepcja neutralizacji ryzyka UXO (ramy pojęciowe):
- **Rozdział 2.5.1-2.5.2:** Inwentaryzacja pUXO w rejonie wraku Stuttgart (lokalizacje, typy, parametry techniczne) – tabele i mapy”
- **Załącznik nr 2:** Szczegółowe dane o minach i torpedach znalezionych w trakcie projektu:
- **Rozdział 3 (aspekty prawne):** Regulacje dotyczące działań EOD/UXO, w tym wymogi Natura 2000/MSFD w zakresie ograniczania hałasu impulsowego:
- **Rozdział 4.5:** Metody neutralizacji amunicji konwencjonalnej (opis techniczny, zalety, ograniczenia, koszty):
- **Rozdział 4.6-4.8:** Metody neutralizacji amunicji chemicznej (wstępna analiza):
- **Rozdział 5.10:** Studia przypadków – usuwanie niewybuchów (case studies):
- **Rozdział 6:** Szacowanie kosztów operacji UXO (stawki, case studies):
- **Rozdział 7.4:** Integracja UXO z wariantami remediacji osadów – macierz decyzyjna.

Dla czytelnika zainteresowanego wyłącznie tematyką UXO rekomendowana jest lektura w kolejności: 2.1-2.2 → 2.5.1-2.5.2 → 4.5-4.8 → 5.10 → 7.4 (macierz decyzyjna).

1.5 Kluczowe założenia i ograniczenia Planu Neutralizacji Zagrożeń

Niniejszy Plan Neutralizacji Zagrożeń (PNZ) został opracowany zgodnie z najlepszą dostępną wiedzą naukową i praktyką międzynarodową w zakresie zarządzania ryzykiem środowiskowym związanym z wrakami i zanieczyszczeniami morskimi. Jednakże konieczne jest jasne określenie kluczowych założeń i ograniczeń, które definiują zakres i możliwości realizacji PNZ.

1.5.1 PNZ jako projekt zarządzania ryzykiem, nie eliminacji ryzyka

Fundamentalnym założeniem niniejszego PNZ jest, że jego celem jest **zarządzanie ryzykiem** do

poziomu **ALARP (As Low As Reasonably Practicable – tak niskiego, jak to racjonalnie osiągalne)**, a nie całkowita eliminacja ryzyka.

Oznacza to, że:

Ryzyko resztkowe będzie istniało nawet po wdrożeniu wszystkich zaplanowanych działań remediacyjnych. Źródła ryzyka resztkowego obejmują:

- Zanieczyszczenia pozostające w osadach pod warstwą cappingu (w przypadku wyboru wariantu izolacji in situ);
- Niepewność co do pełnego zasięgu i stężenia zanieczyszczeń (ograniczenia metod badawczych);
- Ryzyko degradacji zabezpieczeń w długim terminie (erozja cappingu, osuwiska, działalność antropogeniczna);
- Ryzyko nowych uwolnień z wraku (dalszą degradację konstrukcji, uwolnienie „kieszonek” paliwa);
- Ryzyko niewybuchów (UXO) – nawet po neutralizacji zidentyfikowanych obiektów, mogą istnieć nieodkryte.

Zarządzanie ryzykiem resztkowym wymaga długoterminowego zaangażowania (monitoring, reakcja na alarmy, adaptacja planu w świetle nowych danych).

Transparentność co do ograniczeń jest kluczowa dla utrzymania zaufania interesariuszy i efektywności działań.

1.5.2 Ograniczenia i niepewności

PNZ opiera się na danych dostępnych do momentu jego opracowania (2025 r.), w tym:

- badania historyczne wraku i jego losów;
- pomiary środowiskowe (woda, osady, biota) z lat 2016 i 2025;
- modelowanie rozprzestrzenienia zanieczyszczeń;
- analizy laboratoryjne próbek.

Jednakże każdy z tych źródeł danych obciążony jest **niepewnością**, wynikającą z:

- ograniczonej liczby punktów pomiarowych (niemożliwe zbadanie każdego metra kwadratowego dna);
- zmienności przestrzennej i czasowej stężeń zanieczyszczeń (plama nie jest jednorodna);
- ograniczeń metod analitycznych (progi detekcji, błędy pomiarowe);
- nieprzewidywalności procesów środowiskowych (sztormy, zmiany prądów, zmiany klimatu).

W rezultacie:

1. **Zasięg i stężenie zanieczyszczeń mogą być niedoszacowane** w niektórych obszarach;
2. **Mogą istnieć nieodkryte źródła zanieczyszczeń** (np. „kieszonki” paliwa w konstrukcji wraku);
3. **Prognozy przyszłych zmian** (np. tempo degradacji wraku, skuteczność bioremediacji) są obarczone dużą niepewnością.

Szczegółowa analiza niepewności i luk w danych znajdują się w rozdziale 7.5.

1.5.3 Założenie podejścia adaptacyjnego

Wobec opisanych powyżej niepewności, PNZ przyjmuje **podejście adaptacyjne**, polegające na:

- **Monitoringu ciągłym** stanu środowiska i skuteczności działań remediacyjnych;

- **Progach decyzyjnych** wymuszających reakcję w przypadku odchyień od założeń;
- **Elastyczności** w doborze metod – możliwość zmiany/adaptacji planu w świetle nowych danych;
- **Procedurach stop-work** w przypadku wykrycia zagrożeń wyższych niż przewidywane.

1.5.4 Realistyczne oczekiwania

PNZ nie zapewnia:

- **Całkowitej eliminacji zanieczyszczeń** – część pozostanie w środowisku (zwłaszcza w wariacie capping);
- **Przywrócenia stanu pierwotnego (sprzed zatopienia wraku)** – wiele zmian w ekosystemie jest nieodwracalnych w krótkim/średnim terminie;
- **Gwarancji braku przyszłych incydentów** – działania minimalizują ryzyko, ale nie eliminują go całkowicie.

PNZ zapewnia:

- **Redukcję ryzyka do poziomu ALARP** – ryzyko dla środowiska, zdrowia ludzi i gospodarki morskiej będzie obniżone do poziomu uznanego za racjonalnie osiągalny;
- **Kontrolę źródeł zagrożeń** – wrak i zanieczyszczenia zostaną zabezpieczone/izolowane;
- **System wczesnego ostrzegania** – w przypadku nieprzewidzianych zdarzeń, system monitoringu umożliwi szybką reakcję.

1.5.5 Konsekwencje dla interesariuszy

Zrozumienie powyższych założeń i ograniczeń jest kluczowe dla wszystkich interesariuszy:

- **Decydenci:** muszą akceptować, że projekt nie „zamknie tematu raz na zawsze”, ale ustanowi system długoterminowego zarządzania;
- **Społeczność lokalna:** musi być świadoma, że pewne ograniczenia użytkowania obszaru mogą pozostać (np. zakaz kotwiczenia, ograniczenia połowowe);
- **Sektor gospodarczy (offshore, rybołówstwo):** musi uwzględnić możliwość wystąpienia stref z ograniczeniami działalności;
- **NGO i ochrona środowiska:** muszą oceniać projekt w kategoriach „zarządzanie ryzykiem”, nie całkowita remediacja”.

CZĘŚĆ I

Część I stanowi wprowadzenie do tematu, w dużej części będzie niezależna od wyników badań, stanowi podsumowanie obecnej wiedzy o zagrożeniach, jak również o analizowanym obszarze.

Realizacja tego elementu oparta będzie na analizie dokumentów archiwalnych oraz analizie porównawczej wyników prac projektów dedykowanych prowadzeniu prac związanych z usuwaniem paliwa z wraków, oczyszczania

2 Zatopione materiały niebezpieczne

Definicja i rodzaje zatopionych materiałów niebezpiecznych.

Opis znanych lokalizacji i źródeł zagrożeń.

Wnioski z danych historycznych i technicznych (wraki, transport, zatopienie)

Ocena stanu zatopionych materiałów niebezpiecznych.

Przewidywane zmiany stanu w przyszłości.

Szczegółowy opis statku i wraku SS Stuttgart znajduje się w

ZAŁĄCZNIKU NR 1 - „Pełne dane o historii i budowie SS Stuttgart”

Niniejszy dokument, opracowany przez Grupę GeoFusion Sp. z o.o., stanowi uzupełnienie do raportu końcowego z działań pomiarowych i badawczych dotyczących rozpoznania i ewentualnej neutralizacji materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego, realizowanych dla lokalizacji „wrak S/S „Stuttgart” w ramach Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności.

2.1 Definicja neutralizacji ryzyka zagrożeń powodowanych przez paliwa we wrakach oraz rozlewów z wraków

Definicja metody - Neutralizacja zagrożeń dla paliwa (ujęcie wąskie – 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, paliwa i produkty ropopochodne – w sposób eliminujący lub istotnie ograniczający jego szkodliwe oddziaływanie na środowisko, ludzi oraz gospodarkę morską.

Efekt neutralizacji jest pozbawienie zidentyfikowanego źródła zagrożenia właściwości niebezpiecznych do poziomu uznanego za akceptowalny poziom ryzyka resztkowego zgodnie z zasadą *As Low As Reasonably Practicable (ALARP)* lub uczynienie obiektu bezpiecznym.

Neutralizacja opiera się na rozszerzonym modelu ryzyka ekologicznego: $R_i = P_i \times E \times K_i$ (adaptacja klasycznego wzoru wg US EPA, 2000), wpływając na wszystkie komponenty w celu redukcji ogólnego ryzyka. Przykłady w kontekście skażenia morskiego paliwem:

- R_i (Ryzyko): Całkowity poziom zagrożenia jako iloczyn czynników, obejmujący ekologiczne (śmierć organizmów), ekonomiczne (straty rybołówstwa) i społeczne skutki (zdrowie społeczności).
- P_i (Prawdopodobieństwo): Szansa wystąpienia (0–1); neutralizacja redukuje poprzez prewencję, np. bariery antywyciekowe na statkach.

- E (Ekspozycja): Stopień narażenia (czas, intensywność, zasięg, np. dyspersja plamy olejowej); obniżana metodami jak skimming czy in-situ burning.
- Ki (Konsekwencje): Skala skutków (ekologiczne jak persistencja PAH w osadach, ekonomiczne koszty cleanup); mitigowana np. bioremediacją, choć nie zawsze całkowicie eliminowana (NRC, 2003).

Model wspiera precyzyjną ocenę w macierzy ryzyka, dostosowaną do morskich ekosystemów.

2.2 Definicja neutralizacji ryzyka zagrożeń dla UXO.

Definicja metody - Neutralizacja zagrożeń dla UXO to systematyczny, iteracyjny proces redukcji negatywnego wpływu zagrożeń UXO na ludzi, mienie, środowisko i systemy, dążący do akceptowalnego poziomu ryzyka resztkowego według zasady ALARP (As Low As Reasonably Practicable).

Opiera się na hierarchii kontroli ryzyka: od eliminacji (np. detonacja UXO), przez substytucję i kontrole inżynierskie, po procedury administracyjne i ochronę osobistą (zgodnie z NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health). Ryzyko oceniane jest jako $R = P \times K \times E$ (prawdopodobieństwo $\times$ konsekwencje $\times$ ekspozycja), z wpływem neutralizacji na oba czynniki, bez gwarancji całkowitej eliminacji.

W kontekście UXO metody to m.in. kontrolowana detonacja (efektywność 98%, UNMAS 2020), usunięcie (85-95%, NATO STANAG 4518) i neutralizacja chemiczna (z ryzykiem zanieczyszczenia). Uwzględnia resztkowe ryzyko (1-5%), wymagające monitoringu, np. za pomocą GIS (IMAS).

Proces obejmuje identyfikację, ocenę (np. FMEA - Failure Mode and Effects Analysis (Analiza Przyczyn i Skutków Wad/Uszkodzeń), wdrożenie, monitoring i ewaluację, z naciskiem na etykę i środowisko (ISO 14001). Nie eliminuje całkowicie obszaru ALARP w macierzy ryzyka, co podkreśla praktyczne podejście. Integruje normy międzynarodowe i przykłady empiryczne, jak rozminowywanie po II wojnie światowej, wzmacniając tekst bazowy poprzez korekty i uzupełnienia.

Definicja oparta o źródła: ISO 31000:2018; Aven (2015); UNMAS (2020); IMAS; NATO STANAG 4518; HSE (2001); Kaplan i Garrick (1981).

2.3 Opis i ocena stanu

Zgodnie z ustawą o obszarach morskich i administracji morskiej RP (Rozdział 5a, art. 32.b), **zatonione materiały niebezpieczne** na polskich obszarach morskich oznaczają:

- **Amunicję, broń lub materiały wybuchowe** (określone w ustawie 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).
- **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).
- **Wraki** (określone w art. 35a ust. 1a), na których lub w ich bezpośredniej bliskości znajdują się pozostałości paliwa, różnego rodzaju substancje ropopochodne lub obiekty i substancje wymienione w powyższych kategoriach.

Na polskich obszarach morskich zidentyfikowano liczne źródła zagrożeń, w tym wraki z paliwem i amunicją oraz prawdopodobne miejsca zatopień broni chemicznej i konwencjonalnej. Prawdopodobne skupiska występujące na Polskich Obszarach Morskich” co będzie weryfikowane i innej części projektu

Niniejszy Plan Neutralizacji Zagrożeń odnosi się do obszaru zalegania wraku S/S Stuttgart, który stanowi jedno z najistotniejszych punktowych źródeł zagrożeń na Zatoce Gdańskiej, na wodach wewnętrznych RP.

2.4 S/S „Stuttgart” Lazarettsschiff „C” – charakterystyka i losy

Szczegółowe dane dot. statku zawarto w **ZAŁĄCZNIK NR 1 - Pełne dane o historii i budowie S/S Stuttgart.**

S/S „Stuttgart” był niemieckim statkiem pasażerskim, zamówionym w ramach powojennej odbudowy floty Norddeutscher Lloyd, który w czasie II wojny światowej został przekształcony w okręt szpitalny o oznaczeniu Lazarettsschiff „C”.

2.4.1 Najważniejsze parametry statku S/S Stuttgart

Budowa i pierwotne przeznaczenie: Statek został zbudowany w stoczni AG Vulcan w Szczecinie. Zwodowano go 29 marca 1923 roku, a oficjalnie ukończono i wszedł do służby 4 stycznia 1924 roku dla bremeńskiego armatora Norddeutscher Lloyd.

- **Specyfikacja techniczna:** parametry techniczne opisano w tabeli poniżej:

Tabela 1 Zestawienie parametrów technicznych statku S/S Stuttgart

Parametry	Wartość
Długość	167,8 m,
Szerokość	19,8 m,
Wyporność	13 387 BRT
Zanurzenie	7,56 m
Napęd	dwie 3-cylindrowe maszyny parowe zasilane przez cztery kotły parowe, generujące moc 8500 KM, co pozwalało osiągnąć prędkość 16,0-16,3 węzła.
Zasięg	10 000–15 000 mil morskich przy 14 węzłach (zużywając 4738 ton węgla) po przebudowie 3000 do 4500 ton paliwa ciężkiego np. mazutu lub syntetycznego HDO tzn. oleju opałowego lub cieczy węglowej
Pasażerowie	1105 osób w trzech klasach. Te wymiary plasowały go w kategorii średniej wielkości liniowców pasażerskich tamtej epoki.

- **Materiały konstrukcyjne:** S/S „Stuttgart” został zbudowany z miękkiej stali okrętowej i był nitowany. Szacunkowe grubości poszycia kadłuba wynosiły 15–18 mm dla części bocznej, 18–20 mm dla dna oraz 30–40 mm dla kilu.
- **Rodzaj i pojemność paliwa:** W momencie budowy w 1923 roku statek był przystosowany do spalania węgla, którego mógł zabierać od 2500 do 3000 ton. Po przejęciu przez Kriegsmarine w 1939 roku i przekształceniu na okręt szpitalny, kotły przystosowano do spalania mazutu lub syntetycznego paliwa ciężkiego. Pojemność zbiorników na paliwo

ciężkie wynosiła od 3000 do 4500 ton, a w momencie zatopienia szacunkowo znajdowało się w nich 2000-3000¹ ton syntetycznego oleju opałowego.

- **Jako okręt szpitalny:** Otrzymał biały kadłub z zielonym pasem oraz oznakowania Czerwonego Krzyża na burtach, pokładzie i kominie. Miał pojemność około 485 łóżek, obsługiwanych przez 138-osobowy personel medyczny oraz załogę liczącą około 290 marynarzy



Rysunek 1 No.384 Stuttgart launched in 1923 (The World's PaS/Sanger Ships) – źródło: [www. Ship-history.com](http://www.Ship-history.com)



Rysunek 2 Stuttgart (Schiff, 1924) – źródło: [Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Stuttgart)



Rysunek 3 S/S Stuttgart w Kopenhadze (koloryzowane) Zdjęcie archiwalne z Bundesarchiv (sygn. Bild 1011-696-0429-34)



Rysunek 4 S/S Stuttgart vintage postcard reproduction Norddeutscher – źródło : www.etsy.com

¹ Brak udokumentowanych zapisów dot. ilości paliwa w dniu zatopienia. Statek był gotowy do wyjścia z portu (są takie wzmianki) z transportem rannych zatem mógł posiadać od ok 60 do 100% jednostki napętnienia więc to mogła być wskazana ilość. Bliźniaczy statek STEUBEN zwykle miał w zbiornikach ok 2000 do 3000 ton paliwa (dane historyczne potwierdzone archiwalnie), tylko w czasie zatopienia w 1945 r. Kiedy nie było już paliwa szacuje się miał ok 900 ton.

Pośrednim wskaźnikiem może być zanurzenie statku w chwili holowania pływającego S/S „Stuttgart” na miejsce zatopienia – na zdjęciu nr 7 widać, że statek jest zanurzony prawie do linii zanurzenia widocznej na kadłubie, siedzi głęboko w wodzie a to wskazuje że był pełen zapasów w tym paliwa. Obliczyłem, że gdyby nie miał paliwa (-3000 ton) linia wodna musiała by być około 1m a dla -4000 ton) -1,32 m ponad wodą – na zdjęciu widać, że jest ponad wodą tylko kilkanaście centymetrów – być może 20 cm. Stąd wniosek, że mógł mieć dużo paliwa w zbiornikach. Z pewnością nie był jednak załadowany do maximum.

Losy statku:**1. Służba cywilna (1924–1939):**

- W latach 1924–1937 S/S „Stuttgart” obsługiwał regularne połączenia transatlantyckie na trasie Bremerhaven–Nowy Jork.
- Od 1930 roku przeniesiono go na linie dalekowschodnie.
- W 1938 roku statek został sprzedany nazistowskiej organizacji Deutsche Arbeitsfront (DAF) i służył jako wycieczkowiec w ramach programu Kraft durch Freude (KdF).
- W maju 1939 roku przewiózł pomoc dla rządu Franco podczas hiszpańskiej wojny domowej, a w drodze powrotnej z Vigo zabrał żołnierzy Legionu Condor.

2. Służba wojenna (1939–1943):

- 25 lipca 1939 roku S/S „Stuttgart” został zarekwirowany przez Kriegsmarine i przystosowany do roli okrętu szpitalnego, otrzymując oznaczenie Lazarettsschiff „C”.
- Oficjalnie wcielony do służby 23 sierpnia 1939 roku, działał głównie w rejonie Morza Bałtyckiego i Norwegii, transportując rannych żołnierzy z frontu wschodniego do Gdyni i innych portów.

3. Zatopienie (9 października 1943):

- W październiku 1943 roku statek stacjonował w Gdyni (Gotenhafen), przyjmując rannych żołnierzy.
- Został trafiony co najmniej 2–3 bombami burzącymi i zapalającymi podczas dziennego nalotu amerykańskiej 8. Floty Powietrznej, co wywołało rozległy pożar.
- Na pokładzie znajdowało się od 300 do 500 rannych żołnierzy, personel medyczny i załoga. Pożar uniemożliwił ewakuację, prowadząc do licznych ofiar.
- Oficjalne raporty Kriegsmarine podały 48 ofiar, jednak inne świadectwa sugerują znacznie większą liczbę.
- Płonący okręt został odholowany na redę Gdyni, gdzie ostrzelano go około 25 pociskami kalibru 88 mm, co doprowadziło do jego zatopienia między godziną 14:00 a 18:00.
- Wrak osiadł na dnie, początkowo w pozycji pionowej, mocno pochylonej na prawą burtę.
- Mimo statusu okrętu szpitalnego i oznaczeń Czerwonego Krzyża, statek został zaatakowany. Amerykańskie raporty skupiały się na zniszczeniu infrastruktury portowej, nie wymieniając „Stuttgartu” jako główny cel.
- Zatopienie S/S „Stuttgart” jest przykładem tragicznego losu okrętów szpitalnych w czasie II wojny światowej.

4. Losy wraku po wojnie (od 1943 do współczesności):

Wrak spoczywa na dnie Zatoki Gdańskiej, niedaleko Gdyni, na głębokości około 22 metrów.

- Po zatopieniu, wrak przewrócił się na prawą burtę.
- W 1949 roku jego pozostałości zlokalizowano 2,3 mil morskich od wejścia do portu w Gdyni.
- W latach 50. XX wieku próbowano opracować metodę wydobywania wraku, jednak z uwagi na jego zniszczenie (80% kadłuba, 100% maszyn) i wysokie koszty, Komisja Kasacyjno-Wrakowa w 1955 roku uznała wydobywanie za niecelowe.

- W latach 1956-1957 Polski Ratownictwo Okrętowe (PRO) przeprowadziło demolicję wraku metodą pirotechniczną, rozrywając go na części i wydobywając fragmenty. Wydobyta stal została wysłana do hut w Polsce w celu przetopienia.
- Przed pracami przeprowadzono badania nurkowe w celu odnalezienia szczątków ludzkich, których jednak nie stwierdzono, choć wiarygodność tych raportów jest dyskusyjna.
- Demolicja nie rozwiązała problemu wycieków paliwa, a wręcz przeciwnie – zakłada się, że proces spowodował wylanie się całej zawartości paliwa z wraku, co potwierdziły badania z 2012 roku.
- Brak analizy wpływu metody pirotechnicznej na środowisko jest uznawany za błąd, który doprowadził do katastrofy ekologicznej.
- Wrak nie został usunięty w całości, a jego pozostałe fragmenty zalegają na i w dnie do dziś, stanowiąc zagrożenie ekologiczne.
- Na starych mapach nawigacyjnych miejsce zalegania wraku było oznaczane jako „zanieczyszczenie na dnie”, co początkowo odnosiło się do fizycznych szczątków, a nie do skażenia paliwem.
- Wrak został ponownie odnaleziony w 1992 roku, a w 1998 roku Instytut Morski w Gdańsku potwierdził jego położenie.



Rysunek 5 Fotografia lotnicza przedstawia fragment bazy Kriegsmarine w porcie gdyńskim bezpośrednio po nalocie samolotów amerykańskich. Zdjęcie zostało wykonane przez samolot aliancki. W dolnej części fotografii widoczny jest płonący okręt szpitalny S/S „Stuttgart”.
<http://www.balticwrecks.com>

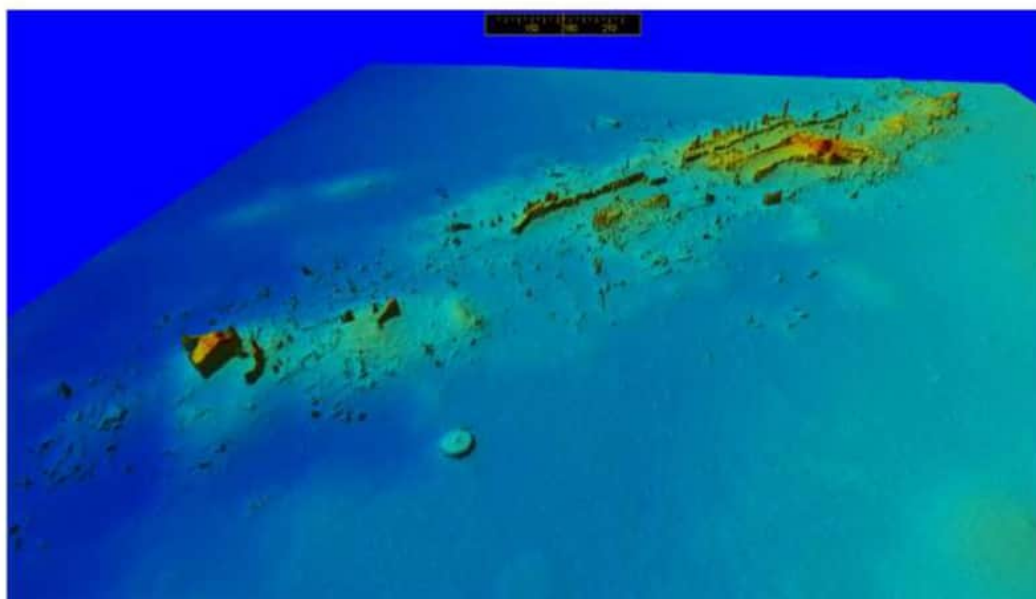


Rysunek 6 Rekonstrukcja wizualna płonącego okrętu szpitalnego Stuttgart wykonane przy użyciu narzędzi AI (IdeogramAI) w oparciu o oryginalne zdjęcie statku w porcie Gdynia ze strony <http://www.balticwrecks.com> oraz <https://www.feldgrau.com/WW2-Germany-The-Stuttgart-Lazarettsschiff>



Rysunek 7 Ostatnie znane zdjęcie SS Stuttgart – odrestaurowane z użyciem AI

Rysunek 7 przedstawia holowanie płonącego statku z portu Gdynia 9 października 1943 roku ok. 15:00, kiedy to między 12:00 a 14:00 niemieckie dowództwo portowe zdecydowało o odholowaniu „Stuttgartu” na redę Gdyni, by zminimalizować ryzyko dla infrastruktury portowej. Zdjęcie kolorowe wykonana na filmie Agfacolor z opisem” 1943 wurde das deutsche Lazarettsschiff „Stuttgart“ bei einem alliierten Luftangriff schwer getroffen. 48 Menschen kamen dabei ums Leben. Das brennende Schiff wurde auf die Ostsee geschleppt und versenkt. C Ageflor – Wikimedia Commons”



Rysunek 8 Obraz pozostałości wraku S/S Stuttgart – źródło UM Gdynia

2.5 Opis lokalizacji wraku

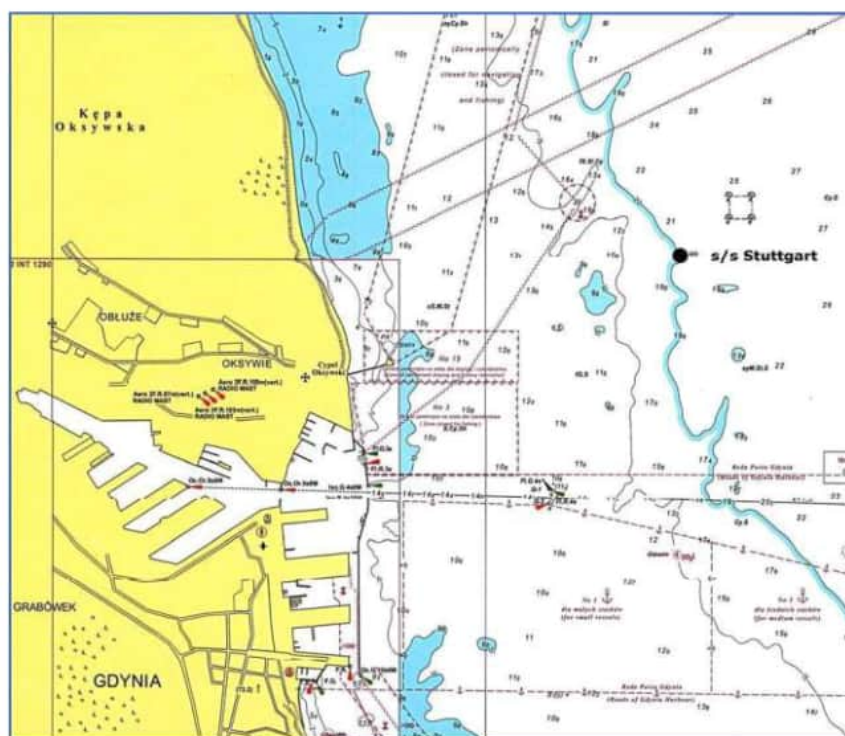
Wrak okrętu szpitalnego Stuttgart leży na dnie Zatoki Gdańskiej na głębokości 22 m p.p.m., w odległości ok. 4,4 km na północny-wschód od toru podejściowego do Portu Gdynia. W tabeli 1. przedstawiono współrzędne lokalizacji wraku.

Tabela 2 Współrzędne lokalizacji wraku s/s „Stuttgart”.

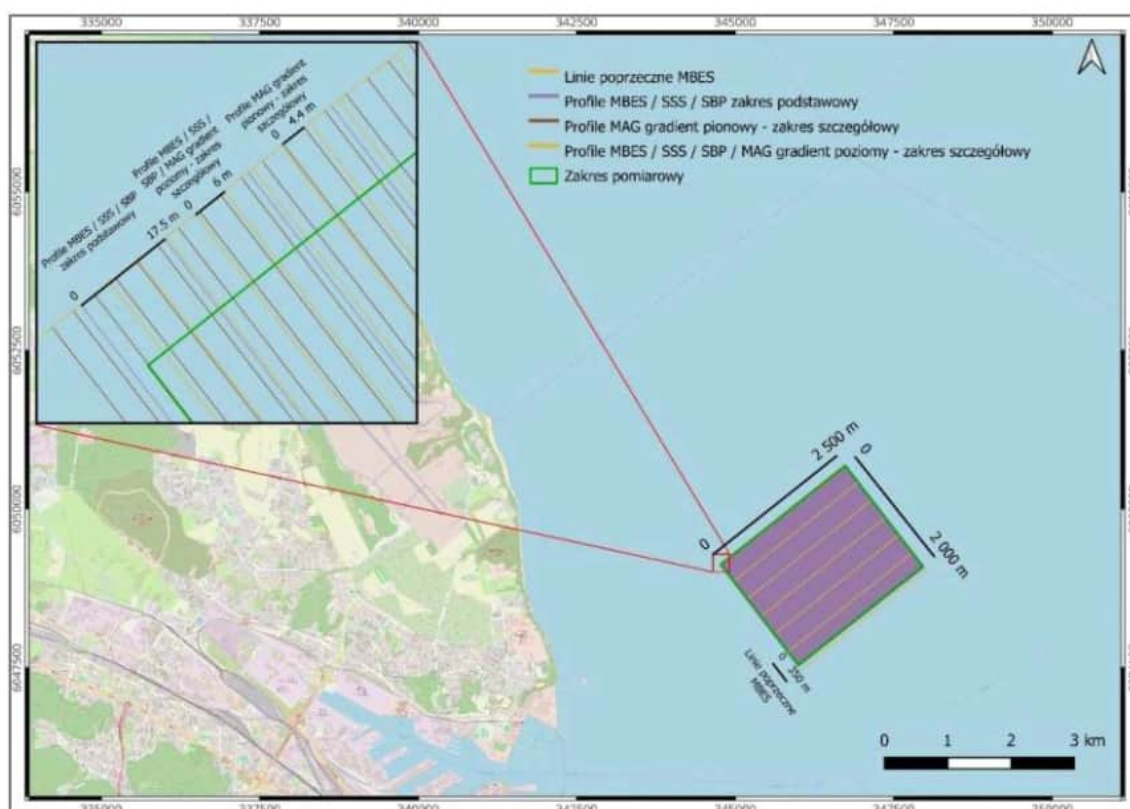
Współrzędne PUWG 92		Współrzędne WGS 84	
X [m]	Y [m]	Szerokość geogr.	Długość geogr.
475227.89	743994.29	54° 33' 33.11"	18° 37' 0.54"

Na potrzeby projektu zaplanowano kilka zestawów linii pomiarowych odpowiadających kompleksowości projektu oraz wykorzystaniu wybranych urządzeń pomiarowych. Linie pomiarowe zostały zaprojektowane w osi północny zachód – południowy wschód – tj. równoległe do krótszego boku obszaru pomiarowego ze względu na ukształtowanie dna. Profile zostały zaprojektowane co:

- dla pomiarów MBES / SSS / SBP w wariancie podstawowym rozstaw profili co 17,5 m
- dla pomiarów MBES / SSS / SBP / MAG w wariancie szczegółowym przy użyciu magnetometrów w układzie gradientu horyzontalnego rozstaw profili co 6 m
- w wypadku użycia magnetometrów w układzie gradientu pionowego rozstaw profili co 4,4 m.



Rysunek 9 Lokalizacja wraku Stuttgart (fragment mapy nawigacyjnej)



Rysunek 10 Plan profili pomiarowych dla projektu Stuttgart, wg. którego wykonano pomiary

Tabela 3 Współrzędne zaplanowanego obszaru badawczego w rejonie pozostałości wraku Stuttgart

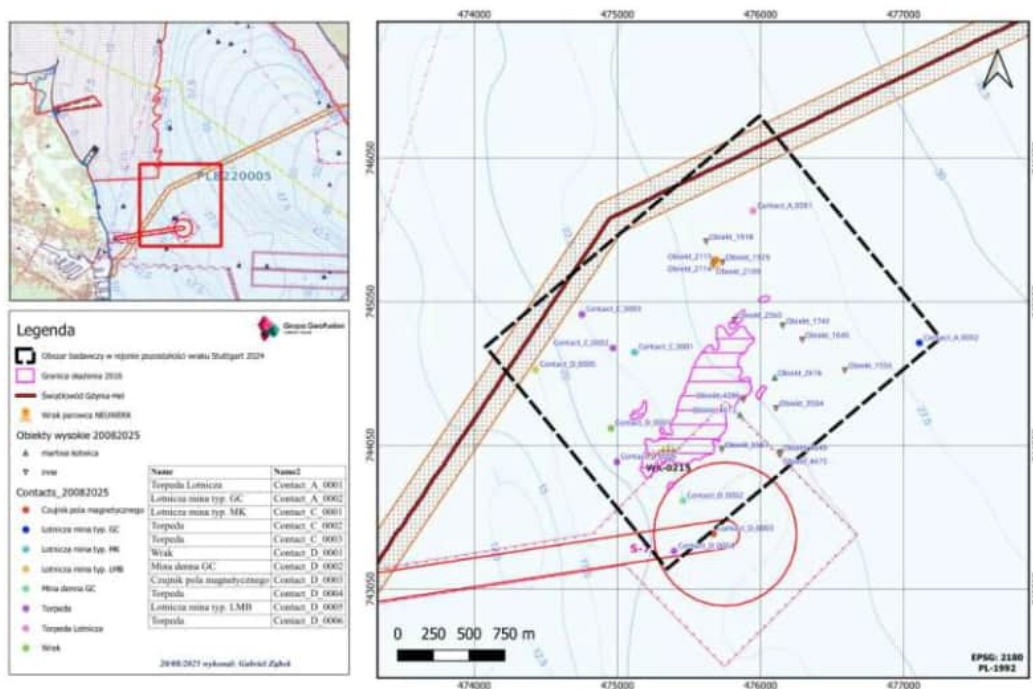
OBSZAR	ETRS89 / UTM zone 34N			
	Easting	Northing	Latitude	Longitude
Stuttgart2015	345952,16	6047594,95	54;33;08,670N	018;37;04,922E
	347390,83	6048737,41	54;33;47,170N	018;38;22,796E
	346564,50	6049688,53	54;34;17,016N	018;37;35,043E
	345191,62	6048586,50	54;33;39,887N	018;36;20,749E
	345952,16	6047594,95	54;33;08,670N	018;37;04,922E
Stuttgart area	344774,61	6049127,61	54;33;56,919N	018;35;56,525E
	345995,45	6047543,46	54;33;07,053N	018;37;07,426E
	347953,33	6049098,04	54;33;59,437N	018;38;53,415E
	346732,48	6050682,19	54;34;49,320N	018;37;42,524E
	344773,43	6049129,09	54;33;56,965N	018;35;56,457E

2.5.1 Miny i torpedy znalezione w pobliżu wraku S/S Stuttgart

W rejonie wraku zidentyfikowano dwa typy niewybuchów (UXO): **miny morskie** – stacjonarne urządzenia wybuchowe zakotwiczone lub spoczywające na dnie oraz **torpedy** – samosterujące pociski podwodne wyrzucane z okrętów lub samolotów.

W badanym obszarze znaleziono kilkanaście obiektów, których kształt i wymiary wskazują na to, że mogą to być obiekty niebezpieczne np. uzbrojenie. Wytypowano do sprawdzenia 10 obiektów typu UXO (miny i torpedy) na obszarze badanym, 3 wraki (w tym Stuttgart), dwie pozostałości po wrakach (Newerk i prawdopodobny wrak historyczny), oraz 2 obiekty UXO tuż przy dolnej granicy

badanego obszaru (torpeda i mina denną). Obiekty szczegółowo omówiono w ZAŁĄCZNIK NR 2 -
Miny i torpedy znalezione w trakcie projekt.

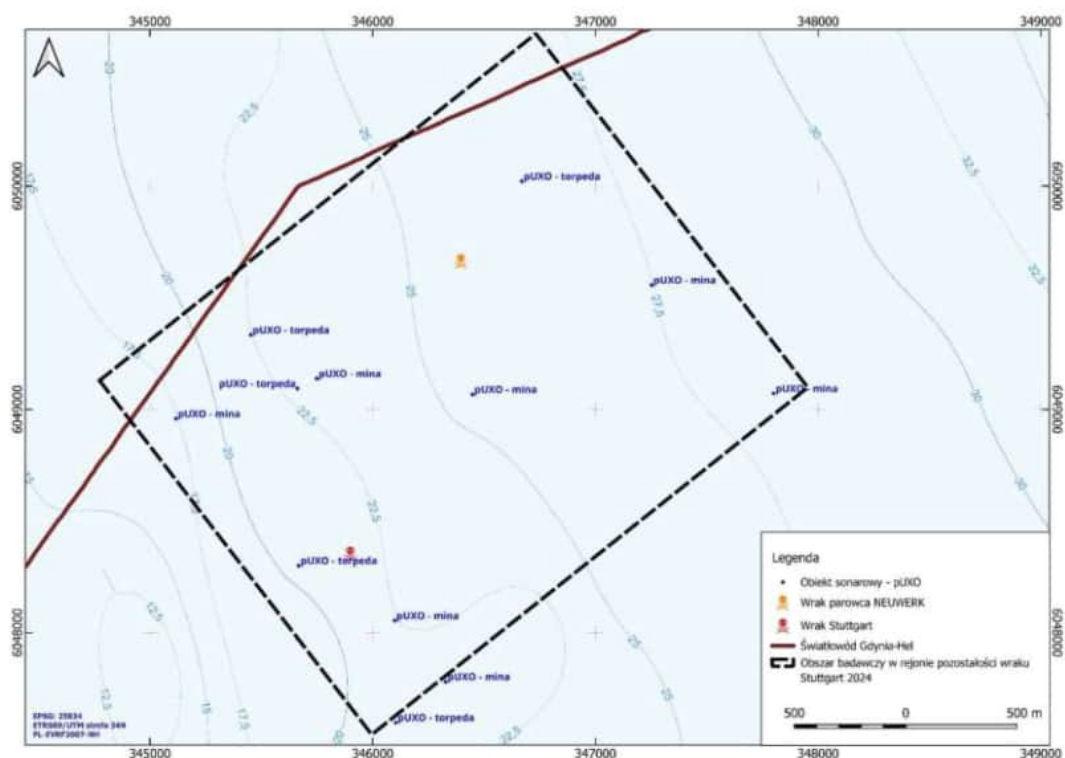


Rysunek 11 Obszar wokół lokalizacji wraku Stuttgart

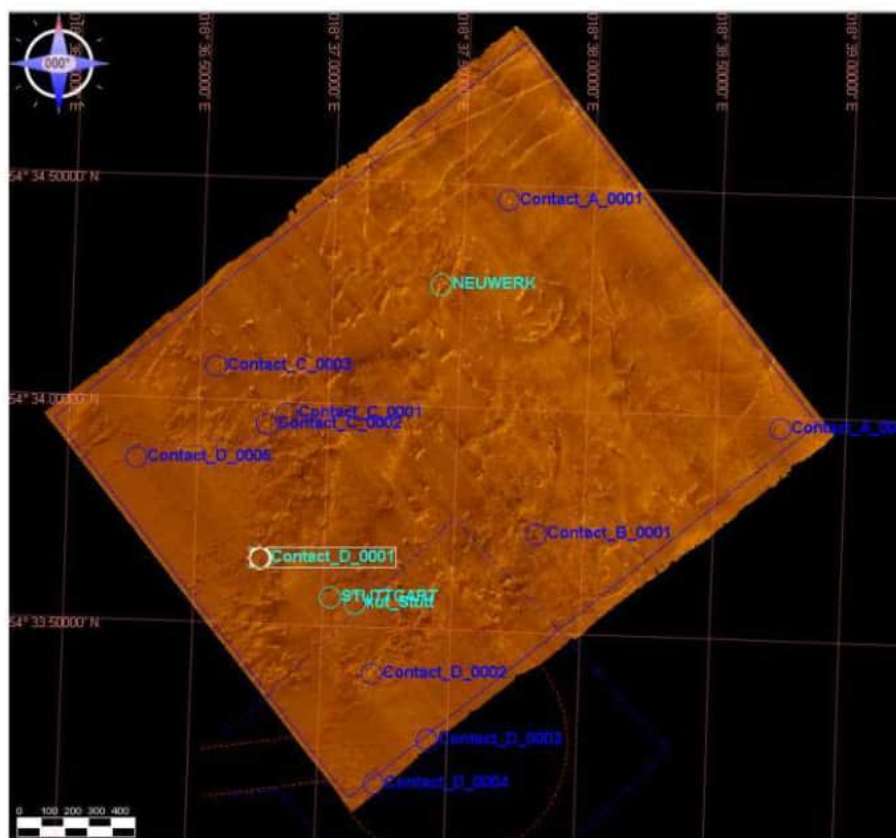
Źródło: opracowanie własne na podstawie komórki mapy nawigacyjnej ENC, BHMW

Tabela 4 Wykaz UXO wytypowanych do sprawdzenia ROV-video.

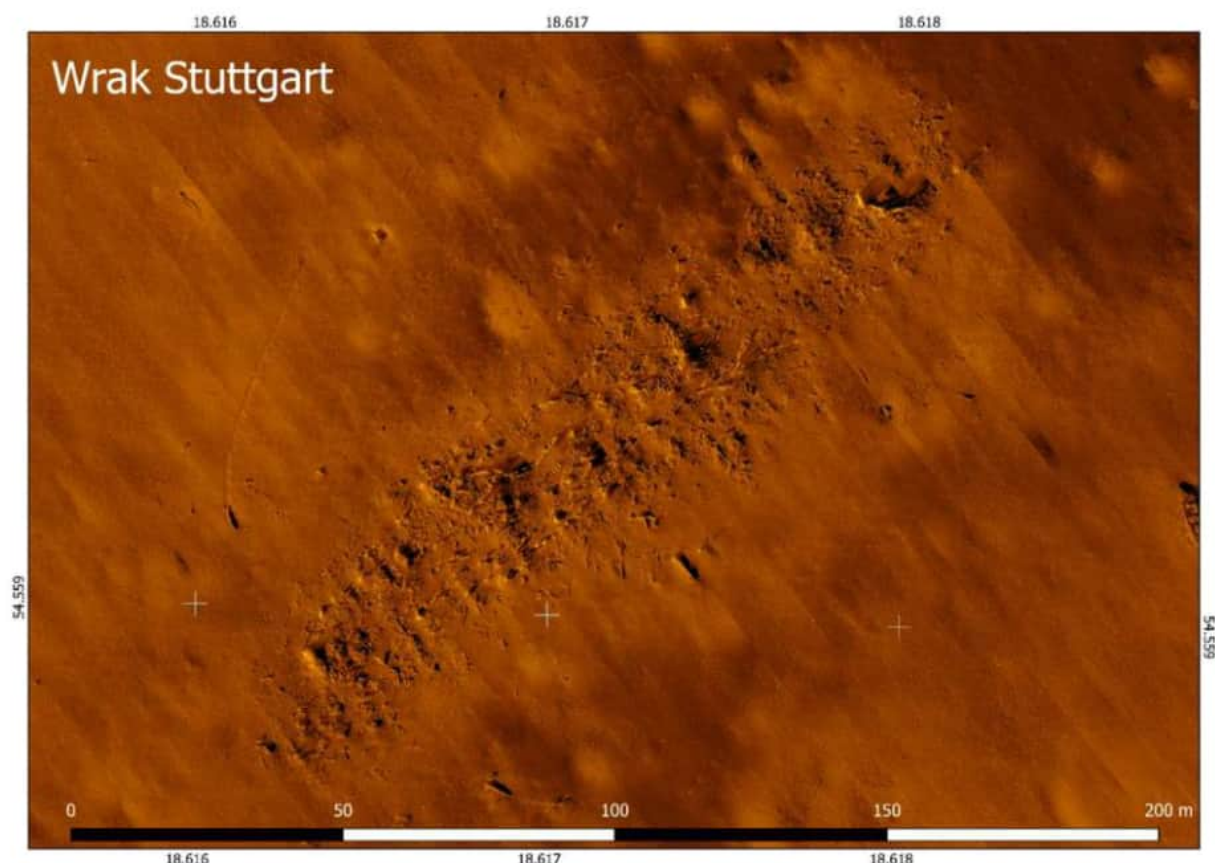
Lp.	Obiekt	Φ	λ	Easting	Northing	Długość	Szerokość
1	Torpeda Lotnicza					4,5 m	0,5 m
2	Lotnicza mina typ. GC					2,6 m	0,67 m
3	Lotnicza mina typ. MK					1,7 m	0.4 m
4	Torpeda					7,1 m	0,5 m
5	Torpeda					7,3 m	0,6 m
7	Mina denną GC					2,0 m	0,5 m
8	Mina lub zatop. Boja						
9	Torpeda					7,0 m	0,6 m
10	Mina GC					2,4 m	0,5 m
14	Mina						
15	Mina						
16	Torpeda						



Rysunek 12 Plan obszaru, na którym dokonano dokładnego rozpoznania obiektów niebezpiecznych (UXO) oraz wraku Stuttgart i innych wraków w otoczeniu.



Rysunek 13 Mozaika sonarowa z naniesionymi obiektami niebezpiecznymi (2025)



Rysunek 14 Mozaika sonarowa wraku wysokiej rozdzielczości wraku Stuttgart (2025)

Tabela 5 Wykaz obiektów niebezpiecznych znalezionych w okolicy wraku S/S Stuttgart

Opis	Nazwa
Torpeda Lotnicza	Contact_A_0001
Lotnicza mina typ. GC	Contact_A_0002
Mina denna GC	Contact_A_0003
Lotnicza mina typ. MK	Contact_C_0001
Torpeda	Contact_C_0002
Torpeda	Contact_C_0003
Mina denna GC	Contact_D_0001
Torpeda	Contact_D_0004
Torpeda	Contact_D_0005
Mina denna GC	Contact_D_0006

2.5.2 Najważniejsze cechy obiektów niebezpiecznych (pUXO) – min i torped znalezionych w rejonie wraku „Stuttgart”:

Dokument charakteryzuje niemieckie torpedy i miny oraz angielskie miny morskie z okresu II wojny światowej, odnalezione w rejonie wraku „Stuttgart”. Szczegółowe dane obiektów przedstawiono w ZAŁĄCZNIK NR 2 - Miny i torpedy znalezione w trakcie projektu. Nie wszystkie rodzaje

torped można rozpoznać po samych wymiarach. Istotna różnica może zostać określona dopiero po wydobyciu i analizie technicznej napędu oraz zapalnika, stąd do analizy przyjęto najbardziej prawdopodobne typy, które stosowane były przez Niemców w czasie II Wojny Światowej.

Typy i pochodzenie:

- **Niemieckie torpedy:** F-5, F-5B (lotnicze, parogazowe), G7A, G7E (morskie, parogazowe i elektryczne, główne uzbrojenie U-bootów i okrętów nawodnych), G7V (morskie, eksperymentalne z silnikiem Sterna).
- **Niemieckie miny morskie:** LMB (mina denna lotnicza, zrzucała z samolotów), TMB (mina denna, z okrętów podwodnych i nawodnych), UMA (mina przeciwpodwodna), EMC (kontaktowa mina kotwiczna).
- **Angielskie miny morskie:** Mark I–VI (denne lotnicze, zrzucały z samolotów).

Wymiary i waga:

- Torpedy F-5/F-5B miały kaliber 0,45 m i długość 4,80–5,38 m, z ładunkiem wybuchowym 200–250 kg heksanitu.
- Torpedy G7A/G7E miały kaliber 0,533 m i długość 7,186 m, z ładunkiem 277–277,5 kg heksanitu.
- Miny LMB miały średnicę 0,66 m i długość około 2,19 m, z masą całkowitą 987–1000 kg i ładunkiem wybuchowym 687 kg heksanitu.
- Miny Mark I–VI miały średnicę 0,40–0,45 m i długość 2,0–2,5 m, z ładunkiem 275–499 kg amatol/minol.

Parametry techniczne torped i min znalezionych w okolicy wraku S/S Stuttgart

Tabela 6 Parametry techniczne min morskich z okresu II wojny światowej

Nazwa	Rodzaj	Kształt	Wymiary (m)	Waga miny (kg)	Waga głowicy (kg)
Mark I-IV (angielska)	Denna, lotnicza	Cylindryczny	2,2 x 0,45	700	325 (amatol)
Mark V (angielska)	Denna, lotnicza	Cylindryczny	2,0 x 0,40	440	275 (amatol)
Mark VI (angielska)	Denna, lotnicza	Cylindryczny	2,5 x 0,45	907	454/499(amatol/minol)
LMB (niemiecka)	Denna, lotnicza	Cylindryczny	2,19 x 0,66	987-1000	687 (heksanit)

Tabela 7 Parametry techniczne niemieckich torped z okresu II wojny światowej

Nazwa	Rodzaj	Kaliber (m)	Długość (m)	Waga torpedy (kg)	Waga głowicy (kg)
F-5	Lotnicza, parogazowa	0,45	4,80	737	200 (heksanit)
F-5B	Lotnicza, parogazowa	0,45	5,38	812	250 (heksanit)
G7A T1	Morska, parogazowa	0,5333	7,186	1526	277,5 (heksanit)

G7E T2/T3	Morska, elektryczna	0,5333	7,186	1595	277 (heksanit)
G7E T4	Morska,	0,5333	7,186	1937	200 (heksanit)
G7E T5	Morska, elektryczna	0,5333	7,186	1483	200 (heksanit)
G7E T10	Morska, elektryczna	0,5333	7,186	1620	245 (heksanit)
G7E T11	Morska, elektryczna	0,5333	7,186	1620	245 (heksanit)
G7V	Morska, silnik Stern	0,500	7,083	1365	240 (heksanit)
G7E	Morska, elektryczna	0,450	7,186	1603	280 (heksanit)

Materiały wybuchowe: Głównymi substancjami wybuchowymi były heksanit (mieszanina RDX i TNT), amatol (TNT i azotan amonu) oraz minol (TNT, azotan amonu, proszek aluminiowy). W wyniku rozpadu materiałów wybuchowych, zwłaszcza mieszanin opartych na trotylu (TNT), powstają substancje o udokumentowanym lub sugerowanym działaniu rakotwórczym/kancerogennym. Najlepiej udokumentowaną rodziną związków o wysokim prioryecie są dinitrotolueny (DNT), w szczególności izomery 2,4-DNT i 2,6-DNT, które są klasyfikowane przez IARC jako Grupa 2B, co oznacza, że są możliwie rakotwórcze dla ludzi. Związki te mogą występować jako zanieczyszczenia procesowe lub jako produkty wtórne w kaskadzie degradacji nitroaromatów. Związek macierzysty RDX (heksogen) ma w ocenie US EPA/IRIS charakterystykę „suggestive evidence of carcinogenic potential” (sugerujące dane o potencjale rakotwórczym). Natomiast produkty redukcji TNT, takie jak amino- i diaminodinitrotolueny (ADNT/DANT), wykazują potencjał genotoksyczny po bioaktywacji, choć dla nich samych często brakuje formalnych klasyfikacji rakotwórczości.

Mechanizmy wyzwalania: Myny wykorzystywały zaawansowane zapalniki magnetyczne, akustyczne lub ciśnieniowe, co czyniło je trudnymi do wykrycia i neutralizacji. Torpedy były wyposażone w zapalniki kontaktowe mechaniczne lub magnetyczne.

Przeznaczenie historyczne: Torpedy były przeznaczone głównie do ataków lotniczych (F-5) lub jako uzbrojenie okrętów podwodnych i nawodnych (seria G7) do atakowania jednostek nawodnych i podwodnych. Myny służyły do tworzenia zagród minowych, blokowania portów, ochrony wybrzeży oraz zakłócania żeglugi.

Skąd wzięły się miny i torpedy na tym obszarze (UXO):

Historyczne rozmieszczenie (II wojna światowa):

- **Kriegsmarine (1944–1945):** Niemiecka marynarka wojenna intensywnie minowała Zatokę Gdańską, szczególnie podejścia do portów (Gdańsk, Gdynia, Hel) w celu ochrony szlaków ewakuacyjnych (operacja „Hannibal”) i utrudnienia działań radzieckiej Floty Bałtyckiej. Wykorzystywano do tego okręty nawodne, podwodne i lotnictwo (samoloty Ju 88 i He 111).
- **RAF „Gardening” (1939–1945):** Brytyjskie lotnictwo (RAF) prowadziło operacje minowe, mające na celu zakłócenie niemieckiej żeglugi, ograniczenie operacyjności Kriegsmarine oraz wsparcie ofensywy radzieckiej. Minowano porty takie jak Świnoujście, Gdynia i

Gdańsk, głównie przy użyciu min dennych lotniczych zrzuconych z samolotów (np. Wellington, Lancaster).

Obecny stan i degradacja:

- Niezdetonowane torpedy i miny z okresu II wojny światowej nadal stanowią poważne zagrożenie jako niewybuchy (UXO).
- **Korozja:** Obudowy amunicji ulegają degradacji i rozpadowi, co prowadzi do wycieków toksycznych związków (TNT, RDX, HMX) do środowiska morskiego. Proces korozji jest przyspieszany przez ocieplenie i zakwaszenie wód Bałtyku oraz erozję dna. W osadach mulistych proces może być spowolniony, a tworzenie się warstw ochronnych (konkrecji) może uszczelniać niektóre obiekty.
- **Zasięg skażenia:** Badania wykazały, że wykrywalność związków wybuchowych notowane jest do 17,5 m w osadach dennych i do 7,5 m w wodzie, co oznacza, że skażenie jest punktowe i lokalne, a nie rozprzestrzenia się globalnie po całym Bałtyku.

Współczesne ryzyka i zarządzanie:

- **Zagrożenia:** UXO stanowią ryzyko dla współczesnych inwestycji (gazociągi, farmy wiatrowe, pogłębianie torów wodnych), dla ludzi (rybacy, nurkowie rekreacyjni, plażowicze, którzy mogą przypadkowo zetknąć się z niewybuchami) oraz dla środowiska (uwolnienie toksyn, fala uderzeniowa przy eksplozji).
- **Metody neutralizacji:** Stosuje się wydobywanie i transport do utylizacji, kontrolowaną detonację (BiP – Blow in Place), deflagrację (niepełne spalanie) oraz eksperymentalne metody neutralizacji in-situ (kapsuły chemiczne/plazmowe). Kontrolowana detonacja jest szybka i tania, ale szkodliwa dla środowiska.
- **Ryzyka środowiskowe związane z neutralizacją**
 - **Wybuch in-situ (BiP):** uwalnia duże ilości związków chemicznych (TNT, RDX, HMX) oraz metali ciężkich do środowiska. Powoduje także śmierć ryb i ssaków morskich z powodu fali akustycznej i ciśnieniowej.
 - **Wydobywanie:** ryzyko niekontrolowanego wybuchu podczas transportu; generowanie wtórnych zanieczyszczeń olejami i paliwami, co jest szczególnie prawdopodobne w rejonie zanieczyszczonym przez paliwo, które wyciekło ze S/S „Stuttgart”
 - **Deflagracja:** choć mniej inwazyjna akustycznie, zostawia w środowisku fragmenty materiału wybuchowego, jeśli proces spalania nie jest pełny.
- **Aspekty prawne i finansowe:** Odpowiedzialność za neutralizację UXO spoczywa na państwach nadbrzeżnych (w Polsce na Marynarce Wojennej RP lub inwestorach, którzy zawierają umowy komercyjne celem dokonania oczyszczenia terenu inwestycji), mimo że źródłem problemu są państwa sprawcze z okresu wojny. Brak jednolitych procedur UE i mechanizmów finansowania operacji sprawia, że koszty są wysokie i spadają na budżety narodowe lub inwestorów.
- **Rekomendacje:** Dokument zaleca traktowanie UXO jako priorytetu bezpieczeństwa ekologicznego i energetycznego, stworzenie stałego systemu monitoringu UXO, rozwój zdolności neutralizacyjnych Marynarki Wojennej i służb cywilnych, wbudowanie zarządzania ryzykiem UXO w procesy inwestycyjne, zacieśnienie współpracy regionalnej (HELCOM,

NATO) oraz stworzenie regionalnego funduszu na neutralizację UXO. Ważne jest także prowadzenie kampanii edukacyjnych dla rybaków, nurków i społeczności nadmorskich.

Pełny opis obiektów zawarto w **ZAŁĄCZNIKU NR 2 - Miny i torpedy znalezione w pobliżu wraku S/S Stuttgart**

2.5.3 Stan wraku

Wrak statku s/s „Stuttgart” spoczywa na **dnie Zatoki Gdańskiej, na głębokości około 22 metrów p.p.m.**, w odległości około 4,4 km na północny-wschód od toru podejściowego do Portu Gdynia.

Stan wraku i jego otoczenia po zatopieniu i przed działaniami powojennymi:

- Statek zatonął w dniu 9 października 1943 roku podczas nalotu na Gdynię, gdzie pełnił funkcję okrętu szpitalnego Lazarettsschiff „C”. Wyholowany z portu, płonący, został ostrzelany 25 pociskami kalibru 88 mm, rozszedlniły one kadłub i doprowadziły do zatopienia.
- Według dokumentów archiwalnych z 1949 roku, wrak leżał **na prawej burcie z przechyłem wynoszącym 90°**. Istnieją jednak rozbieżności; KTB Portu podawał, że wrak osiadł na stępce mocno pochylony na prawą burtę, co sugeruje przewrócenie się wraku pod wpływem sztormów i prądów w latach 1943–1948.
- **Górne pokłady w rejonie śródkręcia (między kotłownią a maszynownią) oraz górny pokład na wysokości dwóch rufowych luków ładowni uległy zniszczeniu**. Kominy statku zostały przewrócone, a kadłub nosił ślady wypalenia.

Późniejsze badania i demolicja (lata 50. XX wieku):

- W latach 1952–1953 nurkowie zbadali wrak. W 1955 r. Komisja Kasacyjno-Wrakowa oceniła zniszczenie kadłuba na 80%, a stan maszyn—ze względu na wiek i 10 lat w wodzie—na 100% zużycia.
- Wrak uznano za przeszkodę nawigacyjną i zalecono jego usunięcie metodą detonacji materiałów wybuchowych.
- Usuwanie wraku, realizowane przez Polskie Ratownictwo Okrętowe w latach 1956–1957, polegało na rozrywaniu konstrukcji ładunkami i wydobywaniu fragmentów dźwigami.
- Przed demolowaniem przeprowadzono badania nurkowe pod kątem szczątków ludzkich; raporty PRO z 1956 r. ich nie potwierdziły. Współczesne analizy podają jednak wiarygodność tych raportów w wątpliwość z powodu ówczesnych ograniczeń technologicznych i realiów PRL.

Obecny stan wraku i związane z nim zagrożenia

Obecny stan wraku pokazano na (Rysunek 8 Obraz pozostałości wraku S/S Stuttgart – źródło UM Gdynia):

- Wrak **nie został usunięty w całości**; pozostałe po procesie rozbiórki fragmenty spoczywają na dnie do dziś. Szacuje się, że obecnie **w dnie oraz na powierzchni pozostało go mniej niż 10% całej konstrukcji**.

- Obecnie stwierdzono, że na dnie pozostały głównie fragmenty burt, kadłuba i konstrukcji, rozproszone i w znacznej części zasypane piaskiem. Ze względu na niewiele wyraźnych elementów wystających ponad dno, jest on **trudny do nawigacji dla nurków**.
- Demolicja wraku w latach 50. XX wieku spowodowała **uwolnienie się całej lub prawie całej zawartości paliwa ze zbiorników wraku**, (co potwierdzono badaniami przeprowadzonymi przez Instytut Morski w Gdańsku w 2012 roku). Wspomnienia nurków z tamtego okresu wskazują na to, że po zakończeniu prac ich kombinezony nurkowe były pokryte ciężkim paliwem lub olejami.
- Badania przeprowadzone przez Instytut Morski w Gdańsku w latach 1999, 2009, 2013 i 2016 wykazały obecność znacznych ilości syntetycznego paliwa ciężkiego na dnie Zatoki Gdańskiej. Porównanie wyników badań z lat 1999, 2009, 2012 oraz 2015/16 wskazuje, że w kolejnych latach odkrywano kolejne skażone obszary. Prawdopodobnym momentem skażenia była demolicja kadłuba wraku w latach 50 tych XX wieku. W związku z odkryciem niewielkich zastoiskowych basenów zawierających płynne paliwo istnieje podejrzenie, że z wraku nadal może wysączać niewielka ilość paliwa
- Obszar skażony paliwem na dnie prawdopodobnie **cały czas (nieznacznie), ale się powiększa**, głównie w kierunku północno-wschodnim i wschodnim (w kierunku głębszych partii zatoki). W 2016 roku powierzchnia skażenia wynosiła około 415 000 m² (41,5 ha), a do remediacji przewidywano od 420 000 do 450 000 ton gruntu, przy założeniu, że remediowana będzie tylko warstwa o miąższości ok. 0,5 m.
- **Zakładamy, że w wyniku przeprowadzonej demolicji z użyciem dużej ilości materiałów wybuchowych istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że w wśród szczątków wraku mogą znajdować się pewne (nieokreślone) ilości ładunków wybuchowych uzbrojone w zapalniki, które nie wybuchły (z nieznanых powodów) ładunki te mogą być bardzo niebezpieczne w trakcie prowadzenia prac mechanicznych i nurkowych na wraku.**

2.6 Wpływ na środowisko

Syntetyczny opis badanego obszaru (uwarunkowania przyrodnicze oraz użytkowania).
Ocena aktualnego wpływu zatopionych materiałów niebezpiecznych na ludzi i środowisko naturalne.

2.6.1 Lokalizacja i morfologia dna

Obszar badań obejmuje fragment dna Zatoki Gdańskiej, gdzie na **głębokości około 22 metrów p.p.m.** spoczywa wrak okrętu szpitalnego s/s „Stuttgart”. Teren charakteryzuje się **nierównym dnem, z deniwelacjami rzędu 1-5 metrów i złożoną genezą:**

- **Część zachodnia i południowo-zachodnia** to reliktowe formy rzeźby morenowej, na które nałożone są formy morskie akumulacyjne i erozyjne.
- **Centralna część** to pas piaszczystych wałów (paleokos) ułożonych skośnie w stosunku do brzegu. Wrak leży na wschodnim stoku jednej z tych paleokos.

- **Północno-wschodnia i wschodnia część** to równina akumulacyjna o niemal płaskim dnie, łagodnie nachylonym w kierunku centrum Zatoki Puckiej.

Budowa Geologiczna Dna Powierzchnia dna w obrębie paleokos zbudowana jest głównie z **piasków drobno i średnioziarnistych**, z niewielką, nieciągłą pokrywą piasków mulistych i mułów. W głębszych partiach dna, w obniżeniach między wałami paleokos, piaski te przykryte są warstwą mulistą i piaszczysto-mulistą. Poniżej zalegają ility i muły ilaste o miąższości do 4 metrów, a pod nimi piaski i żwiry na powierzchni glin. Wyróżniono cztery facje sejsmiczne, od osadów glacialnych i fluwioglacialnych po współczesne osady powierzchniowe.

Uwarunkowania Hydrodynamiczne (Prądy i Falowanie) Dynamika ruchu wody w rejonie wraku s/s „Stuttgart” jest zdominowana przez **prądy wiatrowe**, z pomijalnym wpływem pływów. Warunki hydrodynamiczne w rejonie wraku charakteryzują się **dużą zmiennością sezonową i epizodyczną**, co ma istotne konsekwencje dla rozprzestrzeniania zanieczyszczeń i projektowania działań remediacyjnych.

Warunki typowe (spokojne, 85-90% czasu):

- **Prądy przydenne:** Stabe, rzędu **1-5 cm/s** (0,1-0,4 km/h);
- **Transport osadów:** Minimalny; osady pozostają w miejscu, zanieczyszczenia migrują bardzo wolno (rzędu 10-50 m/dobę w wodzie porowej);
- **Wpływ na rozprzestrzenianie plamy:** **Praktycznie nieistotny** w skali krótkoterminowej (dni-tygodnie); w skali lat możliwy powolny transport (rzędu 100-200 m).

Wniosek: W warunkach spokojnych zanieczyszczenia pozostają blisko źródła (wraku), co ogranicza zasięg oddziaływania.

Warunki sztormowe (ekstremalne, 5-10% czasu, głównie jesień-zima):

- **Prądy przydenne:** Mogą wzrosnąć do **20-50 cm/s** (2-5 km/h) podczas intensywnych sztormów (wiatr > 15 m/s, fale > 3 m);
- **Resuspensja osadów:** Fale dennne i wzmożone prądy powodują **podnoszenie osadów z dna do toni wodnej** (do głębokości 10-20 cm w osadach) – dotyczy szczególnie osadów drobnoziarnistych (muły, pyły);
- **Transport zanieczyszczeń:** Podczas pojedynczego epizodu sztormowego (trwającego 1-3 doby) możliwy transport **1-10 km** od źródła (w zależności od kierunku prądów sztormowych).

Wniosek: W warunkach ekstremalnych następuje **epizodyczne, ale istotne** rozprzestrzenianie zanieczyszczeń; po ustaniu sztormu osady sedymentują, ale w nowym miejscu (poszerzenie zasięgu plamy).

Roczna charakterystyka:

- **Sezon spokojny** (maj-wrzesień): Dominują warunki słabych prądów, minimalna resuspensja;
- **Sezon sztormowy** (październik-kwiecień): 5-15 epizodów sztormowych/rok, każdy z potencjałem remobilizacji osadów.

Warunki hydrodynamiczne w rejonie wraku można podsumować jako:

“Zwykle małe oddziaływanie (warunki spokojne), epizodycznie duże (sztormy)”

W perspektywie długoterminowej (lata-dekady) kumulatywny efekt epizodów sztormowych prowadzi do **stopniowego poszerzania zasięgu plamy zanieczyszczeń** (rzędu 10-50 m/rok w kierunku dominujących prądów sztormowych – głównie wschód-zachód a potem wzdłuż brzegu Zatoki Gdańskiej).

Konsekwencje dla projektu remediacji:

Projekt cappingu (warstwy izolacyjnej):

- Warstwa musi być **odporna na erozję** podczas sztormów (grubość min. 50 cm, materiał o odpowiedniej granulacji – np. piasek średni/gruby lub żwir jako warstwa górna);
- W przypadku użycia aktywnych minerałów granulacja musi być większa niż 5-7 mm a grubość nie mniejsza niż 5-10 cm.

Okna pogodowe dla prac:

- Prace wymagające precyzji (np. układanie aktywnych minerałów, defueling) powinny być prowadzone **wyłącznie w sezonie spokojnym** (maj-wrzesień) i **unikać prognozowanych sztormów**;
- Prognoza 3-5 dniowa jako kryterium go/no-go dla wrażliwych operacji.

Kryteria stop-work:

- **Wiatr > 12 m/s** (prognoza lub pomiar in-situ) → wstrzymanie prac związanych z układaniem warstw, dredgingiem (ryzyko resuspensji);
- **Fala znacząca > 2 m** → wstrzymanie prac precyzyjnych.

Monitoring po zakończeniu remediacji:

- Pomiar po epizodach sztormowych (w ciągu 1-2 tygodni po szturmie) – sprawdzenie integralności cappingu i ewentualnej remobilizacji.

Odniesienie do analizy ryzyka: Szczegółowa analiza scenariuszy remobilizacji zanieczyszczeń podczas sztormów znajduje się w rozdziale 7.11.1 "Ryzyko wtórnego uwolnienia zanieczyszczeń".

Pomiary Hydrofizyczne Wody (Temperatura, Zasolenie, Tlen) Badania z 2016 roku wykazały niewielką zmienność przestrzenną parametrów hydrofizycznych w rejonie wraku.

- **Zimą** obserwowane było silne wymieszanie wody, z wyrównanymi wartościami temperatury (ok. 4 °C) i zasolenia (ok. 7,4 PSU).
- **Wiosną** pojawia się warstwa halokliny (ok. 8 m), która latem obniża się do 9-11 m. W czerwcu widoczna jest wyraźna termoklina na ok. 10 m głębokości, oddzielająca nagrzane warstwy przypowierzchniowe (ok. 19 °C) od chłodnych warstw przydennych (5-6 °C).
- Stwierdzono **znaczny spadek ilości tlenu rozpuszczonego w wodzie na początku czerwca**, a najniższe stężenia tlenu w wodzie przydennej występują w obszarach najbardziej zanieczyszczonych wyciekającym paliwem, co może prowadzić do powstawania stref z deficytem tlenowym.

2.6.2 Użytkowanie i zagrożenia antropogeniczne

Głównym zagrożeniem dla środowiska w badanym obszarze jest **wrak s/s „Stuttgart”**, zatopiony w 1943 roku jako okręt szpitalny Lazarettsschiff „C”.

Stan środowiska w rejonie wraku S/s „Stuttgart” uległ drastycznemu pogorszeniu, co zostało szeroko udokumentowane wcześniejszymi, szczegółowymi opracowaniami.

Aktualnie prowadzone badania koncentrują się na monitorowaniu trendów tych zmian.

- **Wrak nie został usunięty w całości**; obecnie pozostało go mniej niż 10% w dnie i na powierzchni, głównie fragmenty burt, kadłuba i konstrukcji, rozproszone i częściowo zasypane piaskiem. Jest on trudny do nawigacji dla nurków.

- S/s „Stuttgart” po 1939 roku jego kotły przystosowano do spalania **ciężkiego oleju opałowego lub syntetycznego paliwa ciężkiego (HDO)**, produkowanego z węgla. Szacowana zawartość paliwa w zbiornikach w momencie zatopienia wynosiła 2000-3000 ton syntetycznego oleju opałowego².
- Badania z lat 1999, 2009, 2013 i 2016 wykazały obecność **znacznych ilości syntetycznego paliwa ciężkiego** na dnie Zatoki Gdańskiej. Na powierzchni wody nie widać uwolnionych plam paliwa. Brak dowodów na to, że odległe rejony dna skażone paliwem są obecnie zasilane paliwem ciężkim, badania Uniwersytetu Gdańskiego³ wskazują na świeże wypływy paliwa. Brak dowodów na to że są to duże wypływy. Rozkład obszarów o bardzo dużym poziomie zanieczyszczeń wskazuje, że paliwo gromadziło się w obniżeniach terenu, gdzie jak w podwodnych kałużach powstały obszary zastoiskowe. Główną cechą tych obszarów jest duża głębokość penetracji oleju w gruncie. Największą wartość penetracji określono na 1,3 m.
- W 2016 roku powierzchnia skażenia wynosiła **około 415 000 m² (41,5 ha)**, a szacowana objętość gruntu do remediacji to od 420 000 do 450 000 ton. W miejscach zalegania mazułu utworzyła się **strefa azoiczna (strefa pozbawiona życia)**⁴, która wraz z plamą poszerza swój zasięg, degradując środowisko naturalne.
- We wcześniejszych badaniach podawano, że **stan środowiska w rejonie wraku znacznie pogorszył się na przestrzeni 17 lat badań**, odpowiadając statusowi „lokalnej katastrofy ekologicznej” (stan na rok 2016). Jednak nie zostało to jednoznacznie potwierdzone. Alarmistyczny opis sytuacji pokazywał aktualny stan wiedzy o skażeniu, gdyż każde kolejne badanie obejmowało większy obszar dna, co może sugerować, że odkrywano nowe obszary już wcześniej skażone. Ponieważ skażenie nie jest ciągłe a rozdzielone pasami gruntu o bardzo niskim skażeniu można było wyciągnąć wniosek, że każde kolejne odkrycie jest dowodem na świeże skażenie, co nie musi być polegać na prawdzie. Obecnie prowadzone badania powinny wskazać tendencję i pozwolić na wskazanie czy sytuacja nadal się pogarsza, poprawia czy też jest stabilna.
- W osadach dennych stwierdzono zawartość związków z grupy WWA (wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych) nawet **6500 razy większą niż w innych osadach**

² Brak udokumentowanych zapisów dot. ilości paliwa w dniu zatopienia. Statek był gotowy do wyjścia z portu (są takie wzmianki) z transportem rannych zatem mógł posiadać od ok 60 do 100% jednostki napętnienia więc to mogła być wskazana ilość. Sposób określenia zapasów na statku w dniu zatopienia oszacowano pośrednio w oparciu o ostanie zdjęcie statku.

³ Badania przeprowadzone przez M. Kubacka et al. (2024) zidentyfikowały wrak S/S Stuttgart jako punktowe źródło ekstremalnego skażenia substancjami ropopochodnymi. Potwierdzenie wycieku: Analiza fluorescencyjna próbek osadów i wody przydennej potwierdziła obecność pochodnych ropy naftowej w bezpośrednim sąsiedztwie wraku. Ekstremalne wartości fluorescencji: Najwyższe wartości intensywności fluorescencji, wskazujące na obecność świeżego paliwa, odnotowano w punktach poboru próbek nr 3, 4 i 6, zlokalizowanych najbliżej wraku. Wartości te były o kilka rzędów wielkości wyższe niż w punktach referencyjnych, położonych dalej od wraku. Charakter hotspotu: W przeciwieństwie do rozległego, ale bardziej rozproszonego skażenia Głębi Gdańskiej, hotspot wokół wraku Stuttgart ma charakter lokalny, intensywny i jest bezpośrednio związany z aktywnym wyciekiem paliwa. „Fluorescent analysis of sediments and near-seabed water in the area of the s/s Stuttgart wreck in the Gulf of Gdańsk (Baltic Sea) – PMC”.

⁴ Wniosek z badań w roku 2016 wyciągnięty przez pracowników Zakładu Ochrony Środowiska Instytutu Morskiego w Gdańsku. Str. 103 w sprawozdaniu „Badania oraz analiza zagrożeń dla środowiska morskiego, jakie stanowi wrak statku Stuttgart wraz z analizą istniejących technologii utylizacji zagrożenia i możliwości ich wykorzystania - Raport końcowy zawierający sprawozdanie z realizacji I i II etapu badań” strona 13 w zał. 13. „Raport z prac polegających na pobraniu i analizie jakościowej oraz ilościowej 50 próbek makrozoobentosu z rejonu zalegania wraku Stuttgart wraz z opisem uzyskanych wyników”

Zatoki Gdańskiej⁵, co potwierdza ogromne zanieczyszczenie. Zanieczyszczenia występują na głębokości nawet do 1,30 m (stwierdzona głębokość skażenia w jednym z rdzeni). Wykryto również podwyższoną zawartość WWA i ołowiu w tkankach małża *Mytilus trossulus*.

- W rejonie badań zidentyfikowano także **obiekty antropogeniczne**, w tym obszary zrzutu odpadów oraz obiekty potencjalnie niebezpieczne (10 obiektów UXO + 2 UXO tuż przy granicy badanego obszaru). W bezpośrednim rejonie wraku występują liczne elementy wraku, takie jak kotły i urządzenia napędowe, fragmenty kadłuba i pokładów.

2.6.3 Wpływ na środowisko naturalne - podsumowanie

1. Źródło zanieczyszczenia i jego charakterystyka:

- Szacuje się, że w momencie zatopienia w 1943 roku, w zbiornikach statku znajdowało się około 2000-3000 ton syntetycznego oleju opałowego (statek był gotowy do natychmiastowego wyjścia z portu Gdynia).
- Operacja demolicji wraku, prowadzona w latach 1956-1957, jest uznawana za przyczynę wylania się całej zawartości paliwa z wraku.

2. Lokalizacja, rozprzestrzenianie się i zasięg skażenia:

- Wrak spoczywa na dnie Zatoki Gdańskiej na głębokości około 22 metrów p.p.m., w odległości około 4,4 km na północny-wschód od toru podejściowego do Portu Gdynia.
- Badania z lat 1999, 2009, 2012, 2014, 2015 i 2016 wykazały obecność znacznych ilości syntetycznego paliwa ciężkiego na dnie Zatoki Gdańskiej.⁶
- W 2016 roku powierzchnia skażenia wynosiła około 415 000 m² (41,5 ha). Przewidywano konieczność remediacji od 420 000 do 450 000 ton skażonego gruntu.
- Zanieczyszczenia występują na głębokości nawet do 1,30 m w osadach dennych.

3. Skażenie osadów i wody:

- Zawartość związków z grupy WWA (wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych) w najbardziej zanieczyszczonych próbkach osadu dennego jest nawet 6500 razy większa niż w osadach Zatoki Gdańskiej, co potwierdza ogromne zanieczyszczenie badanego obszaru.
- Podwyższone wyniki analiz zawartości WWA w wodach przydennych wskazują na możliwość resorpcji (remobilizacji) tych związków z osadu dennego do toni wodnej.
- W wodach powierzchniowych stwierdzono przekroczenie wartości granicznych dla WWA.
- Stwierdzono najniższe stężenia tlenu w wodzie przydennej w obszarach najbardziej zanieczyszczonych wyciekającym paliwem (w części posadowienia wraku oraz w części

⁵ Wartości równe lub nieco niższe pochodzą z prób powierzchniowych nr. 28-20 odl. 300 m od wraku, nr. 27-220 leży 300 m, nr. 36-40 to 450 m oraz nr. 41-240 to 600 m od wraku oznaczone jako mocno zaolejone a nie czyste paliwo. Zał. 09 i 12 do raportu z 2016 roku

⁶ Najszerszej prowadzone badania zostały wykonane w 2016 r a potem nie było innych (częściowe w 2021 tylko ocena wielkości obszaru skażenia w oparciu o backscattering MBES bez prób).

środkowo-zachodniej), co może prowadzić do powstawania stref z deficytem tlenowym w przyszłości.

- Wrak nie jest źródłem zanieczyszczenia związkami z grupy PCB, ponieważ ich stężenie w osadach było stosunkowo niskie.

4. Wpływ na organizmy morskie (makrozoobentos):

- Badania przeprowadzone w kwietniu 2016 roku potwierdziły, że stan środowiska w rejonie wraku pogorszył się znacznie na przestrzeni 17 lat (od 1999 roku), odpowiadając statusowi „lokalnej katastrofy ekologicznej”⁷.
- W miejscach zalegania mazutu utworzyła się strefa azoiczna (strefa pozbawiona życia), która wraz z plamą poszerza swój zasięg, degradując środowisko naturalne.
- Makrozoobentos w tym rejonie charakteryzuje się składem taksonomicznym typowym dla wód zanieczyszczonych lub lekko zanieczyszczonych, nie stwierdzono gatunków wrażliwych. Stan ekologiczny rejonu określono jako słaby (IV klasa).
- Stężenia metali (kadm, ołów, rtęć) w tkankach małża *Mytilus trossulus* (omutka) wskazują na umiarkowanie zły lub nieodpowiedni stan środowiska (subGES) według klasyfikacji Ramowej Dyrektywy Wodnej i Strategii Morskiej⁸.
- W tkance miękkiej omutka stwierdzono podwyższoną zawartość fluorantenu, antracenu, benzo(a)pirenu oraz ołowiu, co wskazuje na negatywne oddziaływanie wycieku paliwa na organizmy morskie.
- Badania ekotoksykologiczne wykazały wysoki poziom toksyczności w próbkach rdzenia z warstwy powierzchniowej (0-20 cm) wobec bakterii *Vibrio fischeri* (89%) i skorupiaka *Heterocypris incongruens* (100% śmiertelności), co ma wpływ na organizmy znajdujące się na początku łańcucha pokarmowego.

Wpływ na ludzi

1. Zagrożenie dla zdrowia i żywności:

- Zatopione materiały stanowią potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzi.
- Istnieje ryzyko kontaktu ze skażoną żywnością (rybami)⁹.

⁷ Określenie sytuacji jako „stan lokalnej katastrofy ekologicznej” został sformułowany przez dr A. Osowieckiego z Zakładu Ekologii Wód Instytutu Morskiego w Gdańsku w 2009. Wniosek wyciągnięto w oparciu o badanie sytuacji organizmów żywych w rejonie skażenia. Powtórzono go w kolejnych raportach IM w Gdańsku w latach 2012, 2014, 2015 oraz w sprawozdaniu z kompleksowego badania wraku i jego okolicy w 2016. W artykułach dr hab. Rogowskiej pojawiają się stwierdzenia: Ekstremalnie wysokie poziomy zanieczyszczeń (PAH do 1291 mg/kg), Wysoką toksyczność osadów dla organizmów testowych, Rozległy zasięg zanieczyszczenia (do 415 m od wraku) określające sytuację jako ekstremalnie poważną i publikacji prof. Bełdowskiej np. „S/S Stuttgart shipwreck as a source of mercury to surface sediments of the Gulf of Gdansk” gdzie napisano: Najwyższe stężenie (4750,6 ng g⁻¹) spośród wszystkich najbliższych obiektów zaobserwowano w stacji położonej najbliżej wraku statku S/S Stuttgart (2019). Na podstawie dostępnej literatury można stwierdzić, że może to być najwyższe stężenie rtęci zmierzone w osadach Morza Bałtyckiego i jest ono prawie 78 razy wyższe niż średnie stężenie w Zatoce Gdańskiej. Ogólnie rzecz biorąc, wyniki w obrębie wraku były zróżnicowane i wahały się od 123,78 do 4750,6 ng g⁻¹, a więc różniły się nawet 37-krotnie.

⁸ Dane z raportów IM w Gdańsku 2016; W obszarze wraku z dna nigdy nie udało się pobrać omutka (tylko martwe szczątki) – możliwe, że żyje na szczątkach wraku wysoko ponad dnem – nigdy nie pobierane – brak nurków, którzy mogli by to zrobić. Omutka do badań pobierano dragując dno do ok. 500 m od granicy skażenia i tam były wymienione wskazania. Opis pochodzi z badań 2016 roku załącznik 12 str 52

⁹ Ocenę wpływu wraku S/S Stuttgart na ryby uniemożliwia **fundamentalny brak danych empirycznych i naukowych badań** specyficznych dla bezpośredniego sąsiedztwa tego wraku. Kluczowe czynniki uniemożliwiające przeprowadzenie rzetelnej oceny związku przyczynowo-skutkowego są następujące:

- Procesy kancerogenne wpływające na faunę i florę w obszarze skażenia sugerują długoterminowe ryzyko dla zdrowia ludzi poprzez łańcuch pokarmowy. Podwyższone stężenia WWA w osadach oraz ołowiu w tkankach omutków są związkami o udowodnionym negatywnym wpływie na zdrowie ludzkie.

2. Aspekty społeczne i ekonomiczne:

- Zarządzanie zagrożeniami, takimi jak rozlewy olejowe i skażenie środowiska wodnego, wymaga efektywnej strategii komunikacji społecznej oprócz działań technicznych.
- Kluczowe jest informowanie społeczeństwa o rzeczywistych skutkach ekologicznych i ekonomicznych.
- Zaangażowanie interesariuszy może być korzystne dla zarządzania problemem.
- Brak właściwej analizy skutków podejmowanych działań demolacyjnych w przeszłości doprowadził do rozprzestrzeniania się skażenia, którego skutki mogą być odczuwalne przez dziesięciolecia.

Z dotychczasowych badań wiemy, że wrak s/s „Stuttgart” jest źródłem skażenia gruntu ciężkim paliwem w skład którego najprawdopodobniej wchodzi smoła pogazowa z węgla, które może mieć znaczący, negatywny i długoterminowy wpływ na środowisko morskie. Doprowadziło to do rozległego zanieczyszczenia osadów i wody, tworzenia lokalnych stref azoicznych oraz bioakumulacji toksycznych związków w organizmach morskich.

2.6.4 Szczegółowy opis wpływu różnych rodzajów paliw na środowisko

W żadnym dostępnym dokumencie dotyczącym statku S/S Stuttgart nie określono rodzaju paliwa jakim statek był bunkrowany. W niemieckich opracowaniach dotyczących okrętów i jednostek pomocniczych Kriegsmarine wielokrotnie podawano, że do bunkrowania używano paliw syntetycznych wytwarzanych z węgla kamiennego, brunatnego a nawet mieszanek paliw ciężkich i smoły pogazowej. Badania z roku 2016 wskazują na paliwo syntetyczne (ciecz węglową) jednakże brak

1. **Brak dedykowanych badań ryb w pobliżu wraku:** Nie zidentyfikowano żadnych opublikowanych badań, które dotyczyłyby poboru i analizy chemicznej ryb pochodzących z bezpośredniego sąsiedztwa wraku S/S Stuttgart. Najbliższy punkt badawczy MIR i IMGW znajdują się kilka mil morskich na wschód.
2. **Nieadekwatność ogólnego monitoringu:** Istniejące programy monitoringu środowiska morskiego, prowadzone przez instytucje takie jak MIR-PIB czy GIOŚ, mają charakter ogólnoregionalny i nie są zaprojektowane do oceny lokalnych, punktowych źródeł zanieczyszczeń, jakimi są wraki. Stacje badawcze tego ogólnego monitoringu są rozmieszczone w dużej odległości od wraku.
3. **Brak badań gradientowych:** Konieczne jest przeprowadzenie badań gradientowych, polegających na analizie stężeń zanieczyszczeń w organizmach w funkcji odległości od źródła, których dotychczas nie zrealizowano. Bez tego niemożliwe jest zaobserwowanie czy stężenia maleją wraz z oddalaniem się od wraku, co jest podstawowym dowodem na jego wpływ.
4. **Brak stacji referencyjnej:** Nie wyznaczono stacji referencyjnej, czyli obszaru kontrolnego poza zasięgiem wraku, co uniemożliwia oddzielenie lokalnego wpływu zanieczyszczeń pochodzących z wraku od ogólnego tła zanieczyszczeń charakterystycznego dla Zatoki Gdańskiej.
5. **Brak analizy sygnatury chemicznej:** Nie przeprowadzono szczegółowej analizy sygnatury chemicznej (profilu WWA) w tkankach ryb i jej porównania z profilem chemicznym paliwa (mazutu) z wraku lub zanieczyszczonych osadów, co stanowiłoby ostateczny dowód na związek przyczynowy.

W konsekwencji, stan wiedzy w tym zakresie jest niski, a wszelkie oceny wpływu wraku pozostają w sferze spekulacji i niepotwierdzonych hipotez.

jest dowodu opartego na zapisach historycznych. Z tego względu uznano, że należy rozpatrywać wszystkie rodzaje paliw ciężkich używanych w tym okresie wojny. Dlatego w opracowaniu omówiono trzy najbardziej prawdopodobne typy paliw którymi mógł być zatankowany S/S Stuttgart.

1. Paliwa ciężkie (HFO, olej bunkrowy C) uwalniane z wraków do środowiska morskiego.

Ciężkie paliwa charakteryzują się wysoką lepkością i zdolnością do tworzenia trwałych emulsji typu woda-w-oleju („mus czekoladowy”). Po ewentualnym uwolnieniu do środowiska:

- Tworzą stabilne emulsje, zawierające 60–85% wody. Ich objętość może wzrosnąć 3–5 razy w porównaniu z pierwotnym paliwem.
- Lepkość emulsji rośnie drastycznie, zmieniając płynny olej w materiał półstały, trudny do usunięcia. Intensywny zapach i lepka konsystencja utrudniają mechaniczne i chemiczne oczyszczanie.
- Toksyczność wynika z obecności wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) oraz produktów fotooksydacji (ketony, aldehydy), które są szkodliwe dla organizmów morskich i ulegają bioakumulacji.
- Wpływ środowiskowy jest długotrwały – emulsje mogą przetrwać lata, zanieczyszczając osady, linie brzegowe i łańcuchy pokarmowe, powodując długotrwałe szkody ekologiczne.
- Powstają kulki smołowe, które długo utrzymują się w środowisku.

Uwalnianie paliw ciężkich z wraków stanowi istotne i trwałe zagrożenie środowiskowe, szczególnie w przypadku jednostek zatopionych w rejonach o dużej wartości przyrodniczej lub blisko linii brzegowej. Wymaga to szczególnej uwagi planistycznej, w tym rozważenia działań prewencyjnych lub interwencyjnych.

2. Paliwa z gazyfikacji węgla (UCC, Diesel Fischer–Tropsch) uwalniane z wraków do środowiska morskiego.

Dane o zachowaniu tych paliw w wodzie są ograniczone, ale na podstawie ich właściwości chemicznych można oszacować ich potencjalny wpływ środowiskowy:

- UCC (Ultra Clean Coal) zachowuje się podobnie do paliw ciężkich – może tworzyć trwałe emulsje, zwiększać objętość 3–5 razy i wykazywać wysoką lepkość. Toksyczność UCC może być wysoka – zawiera złożone węglowodory, metale ciężkie i związki siarki. Emulsje mogą zwiększać biodostępność toksyn (zawiesina UCC w wodzie (coal-water slurry, 55–70% mas. węgla): ok. $1.05\text{--}1.25\text{ g/cm}^3$ ($1050\text{--}1250\text{ kg/m}^3$), zależnie od udziału stałych i temperatury).
- Diesel Fischer–Tropsch przypomina konwencjonalny olej napędowy – tworzy cienkie, nietrwałe warstwy na powierzchni wody i jest mniej toksyczny niż HFO, ale bardziej niż benzyna. Diesel FT, dzięki niskiej zawartości siarki, ma mniejsze znaczenie toksykologiczne, ale może powodować ostre, krótkotrwałe efekty w kolumnie wody. (gęstość zwykle około $0.82\text{--}0.845\text{ g/cm}^3$ w 15°C), zatem nie ma go w okolicy wraku.
- Wpływ środowiskowy UCC może być długotrwały, podobnie jak w przypadku HFO, szczególnie jeśli zawiera trwałe związki organiczne.

Wraki zawierające syntetyczne paliwa z węgla mogą stanowić istotne zagrożenie środowiskowe, zwłaszcza jeśli zastosowano UCC. Potrzebne są dalsze badania, ale ostrożność i monitoring są uzasadnione.

3. Smoły pogazowe (coal tars) w środowisku morskim.

Smoły pogazowe to produkty uboczne gazyfikacji węgla, które mogą występować w środowisku morskim, zwłaszcza w rejonach historycznych zanieczyszczeń.

- Nie tworzą emulsji, lecz ze względu na dużą gęstość (1,19–1,24 g/ml) opadają na dno, tworząc trwałe osady. Ponieważ ich temperatura krzepnięcia jest niska – w temp. Ok. 5 stopni (taką temperaturę stwierdzono w okolicy wraku) nadal pozostaje płynne lub półpłynne.
- Brak istotnego wzrostu objętości – smoły nie emulgują, lecz wypłukują toksyczne związki (głównie WWA) do wody.
- Toksyczność dotyczy przede wszystkim organizmów bentosowych, szczególnie mięczaków i skorupiaków, poprzez kontakt z zanieczyszczonymi osadami.
- Oddziaływanie jest trwałe i lokalne, związane głównie z dnem morskim, gdzie smoły mogą zalegać przez lata.
- Wygląd i zapach: czarne, lepkie, intensywnie pachnące osady – nie tworzą warstw na powierzchni wody.

Smoły pogazowe powodują długoterminowe, zlokalizowane skażenie osadów dennych i mogą wpływać negatywnie na ekosystemy bentosowe. W rejonach historycznych zanieczyszczeń konieczne jest uwzględnienie tego ryzyka w planowaniu przestrzennym (np. unikanie ingerencji w dno).

Poniżej zestawiono podstawowe cechy i zagrożenia środowiskowe dla różnych typów paliw mogących znajdować się we wrakach (Tabela 8).

Tabela 8. Kluczowe różnice w zachowaniu i właściwościach emulsji.

Typ paliwa/substancji	Tendencja do emulgacji	Zwiększenie objętości	Gęstość (g/ml)	Lepkość (mPa·s)	Właściwości organoleptyczne	Toksyczność	Wpływ na środowisko
Ciężkie (np. HFO)	Wysoka, stabilne emulsje	3-5x	Do 1,03	Setki tysięcy	Czerwono-czarne, lepkie, „mus”	Wysoka: nasilona przez WWA i foto-oksydację	Długotrwałe zanieczyszczenie, kulki smołowe
Z gazyfikacji węgla (np. UCC, FT diesel)	Prawdopodobnie podobna do ciężkich lub diesla	3-5x jeśli emulgacja	UCC - 1.05–1.25 g/cm ³	Jak diesel lub HFO	Ciemne, lepkie; brak danych szczegółowych	Potencjalnie wysoka, mało danych	Możliwe długotrwałe zanieczyszczenie
Smoły pogazowe	Niska; raczej osadzają się	Brak istotnego wzrostu	1,19–1,24	Wysoka, lepka	Czarne, lepkie osady	Wysoka: przez wypłukiwanie WWA	Długotrwałe zanieczyszczenie osadów bentosowych

Źródło: opracowanie własne

Podsumowując - wrak S/S Stuttgart stanowi istotne źródło potencjalnego zagrożenia środowiskowego na obszarze Zatoki Gdańskiej, głównie z powodu obecności znacznych ilości paliw, w tym paliw ciężkich oraz potencjalnych UXO (miny, torpedy, ładunki na wraku użyte (a które nie wybuchły) do demolicji). Uwalnianie paliwa może mieć charakter zarówno nagły, jak i powolny, kroplowy, przy czym to właściwości fizykochemiczne paliw — a nie tylko sposób wycieku — decydują o ich wpływie na ekosystem.

Ciężkie paliwa rezydualne i ich emulsje są szczególnie trwałe i toksyczne, mogące zanieczyszczać osady dennie oraz dno morskie przez dziesięciolecia a nawet setki lat, prowadząc do kumulacji niebezpiecznych związków, w tym metali ciężkich i policyklicznych węglowodorów aromatycznych (WWA). Lżejsze frakcje paliwowe, choć krótkotrwałe, powodują ostre efekty toksyczne, szczególnie w kolumnie wody.

Powolne wycieki z wraku Stuttgart mają potencjał skażenia tysięcy metrów kwadratowych dna i toni wodnej, wpływając negatywnie na organizmy bentosowe, pelagiczne, a także na łańcuch pokarmowy i gospodarkę regionu. Istnieje także ryzyko masowego wycieku w wyniku korozji zbiorników, co wymaga stałego monitoringu i działań zapobiegawczych¹⁰.

Wnioski podkreślają konieczność uwzględnienia specyfiki Bałtyku — niskiej dynamiki wód i ograniczonej zdolności do samooczyszczania — przy planowaniu przestrzennym i zarządzaniu tym obszarem morskim. Ochrona środowiska oraz minimalizacja ryzyka wymagają ścisłej współpracy między służbami ratowniczymi, naukowcami i planistami morskimi.

2.6.5 Przewidywane zmiany stanu w przyszłości

1. Zmiany we wraku i wycieki:

- Wrak Stuttgart będzie nadal korodował i rozpadał się, potencjalnie uwalniając resztki paliwa lub inne substancje niebezpieczne.
- Pomimo demolicji w latach 1955-1957, prawdopodobnie wrak wciąż jest źródłem **powolnych, ale ciągłych wycieków ciężkiego oleju opałowego/smoły pogazowej** z zagłębionych w dnie zbiorników¹¹.
- Dalsza fragmentacja wraku może rozprzestrzeniać zanieczyszczenia, a brak usunięcia lub zabezpieczenia możliwości potencjalnego wypływu paliwa uniemożliwia skuteczną remediację gruntu.

2. Wpływ na środowisko:

- Skażenie paliwem ciężkim, obejmujące co najmniej **41,5 hektara osadów** (z potencjałem do 45-50 hektarów), ma długotrwałe skutki ekologiczne. Toksyczne **wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)** mogą utrzymywać się przez dekady.

¹⁰ M. Kubacka et al. (2024) M. Fluorescent analysis of sediments and near-seabed water in the area of the s/s Stuttgart wreck in the Gulf of Gdańsk (Baltic Sea) – PMC. Z badań bezpośrednich prowadzonych w latach 1999-2025 znana jest sytuacja wokół wraku. Nie wiele wiemy o samym któregoś szczątki są pogrążone w dnie. Jest tak zniszczony, że trudno rozpoznać co kryje się pod warstwą nanieśionego piasku i mułu. Pośrednio wnioskujemy, że jest to hotspot z badań jak powyżej.

¹¹ Wykonane w latach poprzednich i w obecnym projekcie badania geofizyczne nie umożliwiają wykrycia zbiorników przykrytych nieokreśloną ilością osadu (piasek, muł). Jedynym sposobem wyjaśnienia czy takie zbiorniki istnieją byłoby „odkopenie” wraku w celu oszacowania jego rzeczywistego stanu. Ze względu na potencjalne, ogromne skażenie okolicy wraku przez przemieszczenie skażonego gruntu z wraku nie wydaje się możliwe.

- Prowadzi to do **chronicznej toksyczności, wysokiej śmiertelności i zmniejszenia bioróżnorodności organizmów bentosowych**, kluczowych dla łańcucha pokarmowego.
- Toksyne będą się **bioakumulować** w łańcuchu pokarmowym i zagrażać chronionym siedliskom (np. łąki morskie, siedliska foki szarej w obszarze NATURA 2000).
- Skażenie będzie się utrzymywać i potencjalnie rozprzestrzeniać, szczególnie w kierunku północno-wschodnim.

Podsumowanie:

Przedstawiona charakterystyka wraku S/S „Stuttgart” oraz analiza jego wpływu na środowisko naturalne stanowią podstawę do określenia ram prawnych i regulacyjnych, w których będą realizowane działania neutralizacyjne. Kwestie te zostały szczegółowo omówione w następnym rozdziale.

3 Aspekty prawne i regulacyjne

Przegląd przepisów krajowych i międzynarodowych – analiza aktów prawnych (stan na dzień 20.11.2025).

- wskazanie uregulowań, na podstawie których możliwe jest neutralizowanie zatopionych materiałów niebezpiecznych i remediacji środowiska;
- określenie regulacji prawnych normujących transport amunicji chemicznej lub BST;
- określenie podstaw prawnych do ewentualnego składowania lub dalszego niszczenia odpadów powstałych po neutralizacji;
- wskazanie instytucji, które w myśl przepisów muszą zostać poinformowane i/lub zaangażowane.

Szczegółowa analiza stanu prawnego dotycząca wraków zawarta jest w
ZAŁĄCZNIK NR 3 - Analiza prawno-regulacyjna

Działania zmierzające do neutralizacji zagrożeń związanych z wrakiem S/S „Stuttgart” muszą być prowadzone w ścisłej zgodności z obowiązującymi przepisami prawa międzynarodowego i krajowego. Niniejszy rozdział przedstawia kompleksową analizę ram prawno-regulacyjnych projektu.

3.1 Kontekst i znaczenie Morza Bałtyckiego dla sprawy „S/S „Stuttgart”

3.1.1 Szczegółowa analiza statusu prawnego wraku „Stuttgart”

3.1.1.1 Ramy ogólne

Wrak statku „Stuttgart” znajduje się w granicach wód terytorialnych RP, na obszarze Natura 2000 „Zatoka Pucka”, w bezpośredniej bliskości portu w Gdyni. Od 1999 r. obserwuje się stały wyciek paliwa, a w 2016 r. zanieczyszczenie powierzchniowe obejmowało ok. 415 000 m². Oznacza to, że mamy do czynienia zarówno z obiektem o potencjalnym znaczeniu historyczno-kulturowym, jak i ze źródłem trwającego presyjnego oddziaływania na środowisko.

Status prawny wraku należy oceniać łącznie w trzech perspektywach:

1. własności i ewentualnego immunitetu statku państwowego,
2. jurysdykcji państwa nadbrzeżnego (Polski),
3. odpowiedzialności za szkodę środowiskową i bezpieczeństwo żeglugi.

3.1.2 Własność i immunitet – „statek państwowy” vs porzucone mienie

3.1.2.1 Charakter jednostki

Z dokumentu „Załącznik 3 Analiza prawna” za wynika, że:

- „Stuttgart” był pierwotnie **statkiem pasażerskim**,
- w czasie wojny został **zmilitaryzowany i wcielony do Kriegsmarine**,
- w chwili zatonięcia pełnił funkcje wojskowe.

W świetle art. 95–96 UNCLOS oraz utrwalonej praktyki (orzecznictwo ITLOS i MTS) statki wojenne oraz inne statki używane wyłącznie do celów państwowych niehandlowych zachowują immunitet **nawet po zatonięciu**. Konwencja i doktryna przyjmują, że:

- okręty wojenne = pełny, bezwzględny immunitet,
- inne statki państwowe do celów niekomercyjnych – immunitet zbliżony, choć potencjalnie węższy.

W przypadku „Stuttgarta” można racjonalnie przyjąć, że:

- w momencie zatonięcia był **statkiem państwowym** (jednostka zmilitaryzowana, w służbie Kriegsmarine),
- co do zasady skutkuje trwaniem **suwerennych praw państwa bandery (następcy)** do wraku i ładunku (w tym do paliw)¹².

Jednocześnie dokument słusznie wskazuje na konieczność ostrożnej oceny:

- formalnie nie jest to „okręt wojenny” sensu stricto od początku do końca eksploatacji,
- istnieją argumenty, by badać, czy nie doszło do **porzucenia mienia** (np. intencjonalne samozatopienie, brak jakichkolwiek roszczeń czy działań bandery przez dziesięciolecia).

Na gruncie prawa krajowego brak jest jednego, precyzyjnego mechanizmu „przejęcia” wraku statku państwowego innego państwa po upływie czasu; w praktyce:

- dla wraków nieobjętych immunitetem, porzuconych, możliwe jest uznanie ich za **mienie porzucone** i – po spełnieniu wymogów – przejście na Skarb Państwa,
- dla statków państwowych (szczególnie wojennych) przyjmuje się, że **własność pozostaje przy państwie bandery** tak długo, jak długo nie zrzeknie się ono praw lub nie zawrze stosownej umowy.

¹² Status prawny do wyjaśnienia:

1. Kluczowe rozstrzygnięcie prawne zależy od tego, czy S/S „Stuttgart” w chwili zatonięcia spełniał test „statku państwowego używanego do celów niehandlowych” (government ship operated for non-commercial purposes) w rozumieniu UNCLOS art. 96 — co może zachodzić zarówno przy własności państwa, jak i przy operowaniu przez państwo (nawet jeśli formalny właściciel był prywatny), o ile użycie było niehandlowe.
2. Jeżeli kwalifikacja z art. 96 jest trafna, to co do zasady uruchamia się reżim immunitetu jurysdykcyjnego (sovereign immunity) analogiczny do art. 95–96 UNCLOS oraz silna praktyka państwowa, która zwykle traktuje wraki jednostek suwerennych jako nadal objęte ochroną (w szczególności przed nieuprawnionym ratownictwem i wydobywaniem).
3. W doktrynie występuje spór, czy UNCLOS „wprost” obejmuje wraki, ale w praktyce sądowej i państwowej często przyjmuje się „ciągłość” ochrony: własność i immunitet nie wygasają automatycznie wskutek zatonięcia i domniemane jest przekonanie, że brak porzucenia (no abandonment presumed). Możliwe, jednak, że własnoręczne zatopienie można uznać za „porzucenie”.
4. Teza o „przepadku” mienia III Rzeszy na rzecz RP jest trudna do utrzymania w prawie międzynarodowym, jeśli wrak jest kwalifikowany jako mienie suwerenne (albo objęte immunitetem), ponieważ krajowe reżimy „mienia poniemieckiego” co do zasady nie mogą skutecznie uchylić immunitetu lub przenieść tytułu wobec innego państwa bez podstawy w prawie międzynarodowym.
5. Najbardziej obiecującą (choć wciąż wymagającą dowodów) alternatywą dla „przepadku” byłaby wykazanie, że jednostka nie była statkiem państwowym używanym niehandlowo (np. pozostawała prywatna i wykonywała działalność handlową) lub że doszło do wyraźnego porzucenia (express abandonment) — to jednak w przypadku wraków suwerennych jest rzadkie, a w przypadku S/S „Stuttgart” trudne do udowodnienia.
6. Nawet przy immunitecie, państwo nadbrzeżne (Polska) zachowuje daleko idące uprawnienia regulacyjne w morzu terytorialnym (bezpieczeństwo, ochrona środowiska), ale ingerencja w strukturę wraku (cięcie, wydobywanie, penetracja) pozostaje obszarem najwyższego ryzyka sporu bez zgody państwa uprawnionego (tu: prawdopodobnie Niemcy jako następcy). Brak pewności czy zasypanie wraku (capping) spełnia te warunki.
7. Kanał „wyjątków” (ochrona środowiska / bezpieczeństwo) może uzasadniać działania defensywne, zwłaszcza nieinwazyjne i zabezpieczające; przy działaniach inwazyjnych najbezpieczniejszy model to konsultacje i zgoda + uzgodniony protokół prac.
8. Rekomendacja operacyjna: priorytetem jest szybkie „zamknięcie” faktów (własność/operowanie/status w 1943, strefa morską, charakter ładunków i ryzyko wycieku) oraz przygotowanie ścieżki dyplomatyczno-prawnej pod wspólne działania minimalizujące ryzyko sporu o immunitet.

W odniesieniu do „Stuttgarta” oznacza to, że:

- **formalnie nie można założyć automatycznego przejścia własności na Skarb Państwa,**
- wszelkie działania ingerujące w konstrukcję wraku (wydobycie, cięcie, usuwanie konstrukcji) **powinny być poprzedzone uzyskaniem zgody państwa bandery** (obecnie RFN), chyba że uzasadnione są one działaniami ochronnymi w trybie art. 221 UNCLOS.

2.2. Potencjalny status zabytku / dziedzictwa podwodnego

Wrak ma ponad 100 lat (perspektywa w czasie trwania projektu) lub zbliża się do tego progu. W świetle:

- **Konwencji UNESCO 2001** (soft law dla Polski, ale uznawany standard międzynarodowy),
- **ustawy o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami,**

możliwe jest nadanie mu statusu:

- zabytku nieruchomego (wrak jako obiekt techniki o wartości historycznej),
- elementu podwodnego dziedzictwa kulturowego.

Konsekwencje:

- **priorytet ochrony in situ** – co do zasady zachowanie wraku w miejscu spoczynku,
- zakaz komercjalizacji i „eksploatacji” wraku,
- **obowiązek nadzoru konserwatorskiego** przy wszelkich pracach (badawczych i technicznych),
- konieczność uzgodnień z konserwatorem zabytków / Narodowym Muzeum Morskim.

3. Jurysdykcja – pełna suwerenność Polski, ale z ograniczeniami

Wrak znajduje się w **wodach terytorialnych RP**, a więc:

- Polska sprawuje **pełną suwerenność** (jak na terytorium lądowym),
- obejmuje to:
 - regulowanie dostępu do wraku,
 - zezwalanie lub zakazywanie prac badawczych i technicznych,
 - nakładanie wymogów OOS, ochrony środowiska i ochrony zabytków,
 - działanie służb bezpieczeństwa (MW, SAR, PSP, SG).

Jednocześnie suwerenność ta jest „obudowana” przez:

1. prawo międzynarodowe:

- UNCLOS (obowiązek ochrony środowiska morskiego – art. 192 i nast., uprawnienie do działań ochronnych w razie poważnego zanieczyszczenia – art. 221),
- Konwencja Helsińska (HELCOM) i BSAP – obowiązek zapobiegania zanieczyszczeniom, monitoringu i stosowania BAT/BEP,
- instrumenty soft law UNESCO 2001.

2. prawo unijne:

- dyrektywy: MSFD, RDW, dyrektywa siedliskowa, EIA – co wymusza:
 - **pełną ocenę oddziaływania na obszar Natura 2000,**
 - uwzględnienie hałasu podwodnego, mętności, zanieczyszczeń chemicznych,
 - stosowanie zasady IROPI i kompensacji, jeśli ingerencja jest nieunikniona.

3. prawo krajowe:

- ustawa o obszarach morskich RP i administracji morskiej,
- Prawo ochrony środowiska, ustawa o ochronie przyrody,
- ustawa o ochronie zabytków,
- ustawy sektorowe (materiały wybuchowe, odpady, zarządzanie kryzysowe).

W praktyce oznacza to, że:

- **Polska ma pełne prawo regulować działania na wraku i wokół niego,**
- ale:
 - powinna **szanować ewentualny immunitet statku państwowego** (zgoda bandery na ingerencję w strukturę),
 - ma **obowiązek** podjęcia działań zapobiegających szkodzie środowiskowej (wycieki paliwa),
 - jest zobowiązana do przeprowadzenia **procedur OOS i natury 2000** (w tym potencjalnej konsultacji transgranicznej, gdyby ryzyko rozlewu oddziaływało na inne państwa).

4. Odpowiedzialność – cywilna, publicznoprawna i międzynarodowa

4.1. Odpowiedzialność pierwotna (właściciel/armator/bandera)

Teoretycznie, w systemie współczesnego prawa morskiego:

- reżimy takie jak CLC/FUND, Bunker Convention, HNS, LLMC i Nairobi Wreck Removal Convention przewidują:
 - odpowiedzialność armatora za szkody środowiskowe,
 - obowiązkowe ubezpieczenie,
 - obowiązek usunięcia wraku zagrażającego środowisku lub żegludze.

W odniesieniu do „Stuttgarta”:

- mamy do czynienia z **historycznym wrakiem wojennym,**
- brak ciągłości ubezpieczeniowej, brak realnego armatora w sensie gospodarczym,
- Polska **nie ratyfikowała Konwencji z Nairobi**, co wyłącza najprostszy instrument dochodzenia roszczeń od armatorów w EEZ (tu akurat chodzi o wody terytorialne, ale systemowo ma to znaczenie).

Praktycznie:

- **obiektywne dochodzenie roszczeń od historycznego właściciela czy państwa bandery jest dziś iluzoryczne,**
- mechanizmy odszkodowawcze oparte na HNS czy Bunker Convention mają zastosowanie do **współczesnych wypadków**, nie do wraków z II wojny światowej.

4.2. Odpowiedzialność państwa polskiego i administracji morskiej

Na gruncie dokumentu NIK i obowiązujących przepisów:

1. **Administracja morska** (Minister Infrastruktury, dyrektorzy urzędów morskich, SAR) ponosi odpowiedzialność za:
 - identyfikację i monitorowanie zagrożeń z wraków (art. 42 ustawy o obszarach morskich),
 - planowanie i realizację działań zapobiegawczych i interwencyjnych,
 - włączenie zagrożeń wrakowych do Krajowego Planu Zwalczania Zagrożeń i Zanieczyszczeń Morza oraz planów zarządzania kryzysowego.
2. **Zaniechania** wskazane przez NIK (brak kompleksowej inwentaryzacji, brak analizy ryzyka, przerwany monitoring) mogą rodzić:
 - **odpowiedzialność administracyjną i polityczną,**
 - a przy wystąpieniu szkody – potencjalną **odpowiedzialność odszkodowawczą Skarbu Państwa** wobec podmiotów poszkodowanych (np. rybołówstwo, turystyka),
 - w skrajnym wypadku – **odpowiedzialność międzynarodową Polski za szkody transgraniczne** (zasada prewencji, zobowiązania z HELCOM i UNCLOS).
3. W wymiarze **wewnętrznym**:
 - za aktualne zanieczyszczenie z wraku, którego nie da się przypisać konkretnemu, współczesnemu podmiotowi prywatnemu, **faktycznym adresatem obowiązków jest państwo polskie,**
 - organy mogą nakładać obowiązki monitoringu i remediacji na wykonawców konkretnych projektów (np. w ramach koncesji, pozwoleń środowiskowych), ale **nie zwalnia to państwa z odpowiedzialności za systemowy brak działań.**

4.3. Relacja ochrona środowiska – immunitet statku państwowego

Kluczowy konflikt prawny:

- z jednej strony **immunitet statku państwowego/banderowego** ogranicza swobodę demontażu czy wydobycia wraku,
- z drugiej – **art. 192 i 221 UNCLOS** oraz Konwencja Helsińska nakładają na Polskę **obowiązek ochrony środowiska**, w tym przeciwdziałania wyciekom paliwa.

Z dokumentu wynika zalecana praktyka:

- **uzyskać zgodę państwa bandery** na działania ingerencyjne (wydobycie paliw, cięcie konstrukcji, kapsułowanie),
- w razie braku zgody lub zwłoki – **możliwość podejmowania działań ochronnych proporcjonalnych do zagrożenia** (art. 221 UNCLOS), ale w możliwie wąskim zakresie i po przeprowadzeniu pełnej OOŚ,
- wszelkie działania prowadzić zgodnie ze standardami HELCOM, zasadą ostrożności i BAT/BEP, z pełną dokumentacją i raportowaniem.

5. Wnioski syntetyczne

1. **Status własnościowy „Stuttgart”** jest niejednoznaczny: w świetle prawa międzynarodowego wrak zachowuje cechy statku państwowego, ale długoletnie porzucenie i brak aktywności bandery przemawia za potrzebą wynegocjowanego rozwiązania międzyrządowego (PL–DE), a nie za jednostronnym uznaniem pełnej własności Skarbu Państwa.
2. **Jurysdykcja Polski** jest pełna (wody terytorialne), lecz wykonywana:
 - z poszanowaniem ewentualnego immunitetu,
 - pod silną presją obowiązków z zakresu ochrony środowiska (UNCLOS, HELCOM, prawo UE) i ochrony dziedzictwa (ustawa o zabytkach, standard UNESCO 2001).
3. **Odpowiedzialność za trwające zanieczyszczenia** w praktyce spoczywa na państwie polskim (administracji morskiej i środowiskowej), które:
 - ma obowiązek monitorowania, planowania i podejmowania środków zaradczych,
 - może potencjalnie ponosić odpowiedzialność odszkodowawczą wobec poszkodowanych oraz – w razie szkody transgranicznej – odpowiedzialność międzynarodową.
4. **Najbezpieczniejsza ścieżka prawna to:**
 - formalne ustalenie statusu wraku jako statku państwowego i/lub zabytku,
 - uzgodnienie z państwem bandery zakresu dopuszczalnej ingerencji (usunięcie paliw, ewentualne kapsułowanie),
 - przeprowadzenie pełnej OOŚ z naciskiem na obszar Natura 2000,
 - włączenie działań przy wraku do systemu HELCOM/BSAP i krajowych planów zwalczania zagrożeń.

W obecnym stanie prawnym „Stuttgart” pozostaje zatem **obiektem pod jurysdykcją Polski, potencjalnie pozostającym we własności państwa bandery, za którego oddziaływanie środowiskowe faktyczną odpowiedzialność operacyjną i finansową ponosi państwo polskie.**

3.2 Stan środowiska i rozpoznane zagrożenia związane ze „Stuttgartem”

- Ustalenia raportowe: w rejonie „S/S „Stuttgart”” odnotowano masywne skażenia gruntu węglowodorami (paliwem), przekroczenia substancji kancerogennych oraz lokalne skażenie środowiska morskiego.
- Substancje priorytetowe: PAH klasyfikowane przez HELCOM jako priorytetowe substancje niebezpieczne wymagające szczególnego monitoringu.
- Ryzyka:
 - Uwalnianie węglowodorów na skutek korozji struktur zbiornikowych.
 - Oddziaływania chemiczne na biotę bentosową i łańcuch troficzny; potencjalne skutki zdrowotne i gospodarcze (rybołówstwo).
 - Ryzyka operacyjne przy ewentualnej neutralizacji (hałas impulsowy, mętność, wtórna resuspensja osadów).

3.3 Wymagania proceduralne i techniczne dla ewentualnych działań przy „Stuttgarcie”

- Ocena oddziaływania:
 - Obowiązkowa pełna OOŚ, jeżeli istnieje uzasadniona wątpliwość co do neutralności wpływu; rygorystyczne kryteria TSUE (C-127/02 Waddenzee; C-258/11 Sweetman).
 - Analiza kumulacyjna z innymi presjami w regionie; modelowanie hydrodynamiczne rozprzestrzeniania zanieczyszczeń i scenariuszy awaryjnych.
- Warianty działań (do rozważenia po EIA i uzgodnieniach):
 - Odzysk paliw i substancji ropopochodnych z wnętrza wraku.
 - Kapsułowanie (capping) konstrukcji w celu ograniczenia migracji zanieczyszczeń.
 - Wybór metody minimalno-inwazyjnej zgodnej z BAT/BEP, z planem awaryjnym HELCOM Response.
- Standardy i środki ograniczające:
 - Zgodność z HELCOM Manual i rekomendacjami (m.in. 19/8, 36/3).
 - Ograniczanie hałasu podwodnego (MSFD Deskryptor 11): np. kurtyny bąbelkowe, okna czasowe, alternatywne techniki ograniczające detonacje.
 - Kontrola mętności i emisji wtórnych: kurtyny sorpcyjne, prace przy sprzyjającej hydrodynamicie, sekwencjonowanie etapów.
 - Zero-dumping: zagospodarowanie materiałów/odpadów na lądzie; ewentualne wyjątki tylko na podstawie zezwoleń (LC/LP).

- Immunitet i UCH:
 - Przed ingerencją w strukturę: wyjaśnienie statusu statku państwowego i uzgodnienia z państwem bandery (jak opisano w pkt.3.2)
 - Nadzór konserwatorski i dokumentacja archeologiczna w trybie krajowych przepisów ochrony zabytków i zgodnych z zasadami UNESCO 2001 (priorytet ochrony in situ).

3.4 Monitoring, raportowanie i współpraca

- Monitoring:
 - Przed–w trakcie–po, w standardach HELCOM i MSFD; parametry: PAH, węglowodory, metale, biomarkery bioty, mętność, hałas, osady.
 - Raportowanie okresowe do sekretariatu HELCOM w ustandaryzowanych formatach; integracja z Holistic Assessment.
- Współpraca:
 - HELCOM RESPONSE/MARITIME/STATE & CONSERVATION – konsultacje i wymiana danych; możliwe ćwiczenia i wsparcie eksperckie.
 - W razie oddziaływań transgranicznych – procedury Espoo/Aarhus; notyfikacje, konsultacje i mediacja HELCOM.
- Dokumentacja:
 - Plan reagowania kryzysowego, procedury komunikacji POLREP (POLWARN, POLINF, POLFAC) zgodnie z HELCOM 36/3; ścieżki decyzyjne i odpowiedzialności instytucjonalne.

3.5 Odpowiedzialność i luki systemowe

- Mechanizmy odszkodowawcze:
 - Reżimy CLC/FUND i Bunker Convention dotyczą głównie zdarzeń eksploatacyjnych; ograniczona przydatność dla historycznych wraków.
 - LLMC 1996: ograniczenia odpowiedzialności dla szkód środowiskowych, z możliwym częściowym wyłączeniem działań zapobiegawczych/restytucyjnych; praktycznie limituje skalę roszczeń.
 - Nairobi Wreck Removal Convention (2007): kluczowy instrument, ułatwiający egzekwowanie usunięcia wraku i kosztów – zastosowanie zależne od członkostwa państwa; w razie braku – ciężar spoczywa na państwie nadbrzeżnym.
- Wnioski instytucjonalne (NIK – synteza ustaleń ogólnych z odniesieniem do „S/S „Stuttgart””):
 - Konieczność wyznaczenia wiodącego organu i stałej koordynacji monitoringu wraków zawierających paliwa.

- Ryzyko ekologiczne wraku „Stuttgart” uzasadnia pilne działania planistyczne i operacyjne (profil ryzyka, harmonogram, finansowanie, ścieżki OOS/HEL-COM/Espoo).

3.6 Dokumenty, zalecenia i tabele kluczowe dla „S/S „Stuttgart”” (wyłącznie dot. Bałtyku)

- Instrumenty prawne i operacyjne:
 - UNCLOS (część XII; art. 56, 192–200, 206); Konwencja Helsińska i BSAP; Konwencja londyńska/Protokół 1996; UNESCO 2001 (UCH); Espoo/Aarhus; MSFD (Deskryptor 11).
 - Rekomendacje HELCOM: m.in. 19/8 (koordynacja reagowania), 36/3 (POLREP), oraz standardy monitoringu i Response Manual.
- Najważniejsze wymagane dokumenty robocze:
 - Raport OOS (wraz z analizą kumulacyjną i modelowaniem rozprzestrzeniania zanieczyszczeń).
 - Plan reagowania awaryjnego (HELCOM Response, POLREP).
 - Program monitoringu (przed–w trakcie–po) w standardach HELCOM/MSFD.
 - Dokumentacja konserwatorska i plan nadzoru UCH (jeśli dotyczy).
 - Notyfikacje i dokumenty konsultacyjne (Espoo/Aarhus), pakiet konsultacyjny HELCOM.
- Tabela odniesienia instrumentów (wyciąg skrócony):
 - Konwencja Helsińska (Bałtyk): wiążąca; zasada ostrożności, BAT/BEP; monitoring; koordynacja regionalna – bezpośrednio istotna dla „S/S „Stuttgart””.
 - UNCLOS: ramy kompetencji w WSE i obowiązki ochrony środowiska.
 - BSAP (soft law): cele dot. substancji niebezpiecznych i bezpieczeństwa żeglugi; priorytetyzacja działań wobec wraków.
 - UNESCO 2001: ograniczenia ingerencji, priorytet in situ, nadzór archeologiczny.
 - LC/LP 1996: zezwolenia na wszelkie wtórne zrzuty/urobki przy operacjach.

Tabela 9 Reżimy i znaczenie dla „Stuttgart”

Instrument	Status/Zasięg	Klucz dla „Stuttgart”
UNCLOS (1982)	Globalny, wiążący	EEZ: prawa ochronne PL; obowiązek ochrony (art. 192), OOS (art. 206); art. 221 – działania ochronne; immunitet statku państwowego
Konwencja Helsińska (HELCOM)	Regionalny, wiążący	Zasada ostrożności, BAT/BEP; rekomendacje dot. wraków/Response; monitoring i raportowanie
LC 1972/LP 1996	Globalny (zrzuty)	Zezwolenia na wtórne zrzuty/urobki; analizy toksykologiczne/ekotoksykologiczne

UNESCO 2001 (UCH)	Globalny (strony)	Priorytet in situ, nadzór konserwatorski, granice ingerencji (standard praktyki)
MSFD (UE)	UE	GES; deskryptor 11 – ograniczenie hałasu impulsowego; raportowanie presji
EIA, Natura 2000 (UE)	UE	Screening/AA; pełna OOS przy wątpliwościach; IROPI + kompensacje gdy konieczne
Espoo/Aarhus	Globalny/Pa- neuropejski	Transgraniczna OOS; udział społeczeństwa, dostęp do informacji
LLMC/Bunker/Nairobi	Globalne	Limity/ubezpieczenia; brak Nairobi utrudnia regres kosztów w EEZ

3.7 Rekomendowany tok postępowania dla „S/S „Stuttgart”” (ramowy)

- Etap 1: Ustalenia wstępne i jurysdykcyjne:
 - Potwierdzenie statusu statku państwowego i ścieżki uzgodnień z państwem bandery (immunitet).
 - Screening UCH i decyzja o trybie ochrony in situ/nadzorze konserwatorskim.
- Etap 2: Pełne rozpoznanie środowiskowe
 - Kampania pomiarowa zgodna z HELCOM/MSFD (osady, woda, biota; PAH, węglowodory; hałas i mętność poziom bazowy).
 - Modelowanie scenariuszy rozprzestrzeniania zanieczyszczeń i skutków awaryjnych.
- Etap 3: Procedury formalne
 - OOS z analizą wariantową i kumulacyjną; jeśli konieczne – Espoo/Aarhus; notyfikacje HELCOM.
- Etap 4: Wybór wariantu technicznego
 - Minimalno-inwazyjny, BAT/BEP: odzysk paliw vs przykrycie warstwą oddzielającą wrak (capping), z pełnymi środkami ograniczającymi (hałas, mętność, sorpcja, sekwencjonowanie prac).
 - Plan awaryjny i zasoby HELCOM Response w gotowości.
- Etap 5: Realizacja i monitoring adaptacyjny
 - Monitoring ciągły i raportowanie do HELCOM; możliwość adaptacji metod w reakcji na wyniki monitoringu.
 - Transparentność danych i udział publiczny zgodnie z Aarhus.

3.8 Kluczowe wnioski dla „S/S „Stuttgart”” w Bałtyku

- Konieczne jest pogodzenie trzech reżimów: ochrony środowiska (UNCLOS/HELCOM/UE), immunitetu statków państwowych (UNCLOS) i ochrony dziedzictwa (UNESCO 2001).

- Z uwagi na odnotowane lokalne skażenia i ryzyko PAH, należy przyjąć rygorystyczny standard ostrożności, pełną OOS i ujednolicony monitoring w standardach HELCOM/MSFD.
- Wariant techniczny musi minimalizować ingerencję i ryzyka wtórne; odzysk paliw lub capping – po wykazaniu przewagi środowiskowej i akceptowalności prawnej (immunitet, UCH).
- Operacje powinny być koordynowane regionalnie (HELCOM), z gotowością do konsultacji transgranicznych (Espoo) i pełnym raportowaniem.
- Długofalowo potrzebne są trwałe mechanizmy finansowania monitoringu i neutralizacji najbardziej ryzykownych wraków w Bałtyku oraz wzmocnienie podstaw prawnych odpowiedzialności i egzekucji w WSE.

To opracowanie powstało wyłącznie na podstawie załączonego dokumentu (ZAŁĄCZNIK NR 3 - Analiza prawno-regulacyjna, obejmuje zakres prawa i przepisów dotyczących Polskich Obszarów Morskich)

4 Technologie neutralizacji i remediacji skażenia paliwem

Neutralizacja paliwa we wrakach i rozlanego wokół wraków.

Remediacja gruntu skażonego paliwem.

Neutralizacja amunicji konwencjonalnej.

Wszystkie opisane technologie powinny uwzględniać aspekty bezpieczeństwa oraz skuteczności i efektywności.

Szczegółowe rozwinięcia powyższych zagadnień zawarto w

ZAŁĄCZNIK NR 4 – Badanie wraków, Neutralizacja zagrożeń – techniki, sprzęt, ceny

4.1 Ogólny schemat badania wraku

Ważnym elementem budowania wiedzy o wraku i jego otoczeniu jest pozyskanie pełnej wiedzy o aktualnym stanie wraku i jego bieżącym wpływie na środowisko morskie (we wszystkich aspektach) otaczające wrak.

Pełne rozpoznanie wraku obejmuje m.in.:

1. badania historyczne (kwerenda archiwów),
2. badania geofizyczne,
3. badania geologiczne dna,
4. badania chemiczne (osadów i wody przydennej),
5. badania biologiczne i ekotoksykologiczne,
6. inspekcję ROV / dokumentację wizyjną,
7. zebranie danych środowiskowych (ruch jednostek, sztormy itp.).

Badanie wraku pod kątem wpływu na środowisko obejmuje logiczną sekwencję:

1. **Geofizyka** – batymetria, sonar, profilowanie osadów, magnetometria, inspekcja ROV:
 - o zlokalizowanie wraku i stref potencjalnego skażenia,
 - o wybór miejsc poboru próbek.
2. **Geologia + chemia** – pobór i analiza wody przydennej, osadów powierzchniowych i rdzeni:
 - o skład chemiczny i fizykochemiczny środowiska.
3. **Biologia** – makrozoobentos:
 - o struktura zgrupowań, wskaźniki gatunkowe, ocena stanu ekologicznego.
4. **Ekotoksykologia** – testy Microtox, Ostracodtoxkit, Phytotoxkit:
 - o bezpośrednia ocena toksyczności osadów dla organizmów wskaźnikowych.

Wszystkie te etapy – wprost opisane w załączonym raporcie z badań wraku Stuttgart – dają pełny obraz stanu wraku oraz jego oddziaływania na środowisko morskie. Stanowią punkt wyjścia do opracowania i wdrożenia Planu Neutralizacji Zagrożeń.

4.2 Usuwanie paliwa z wraków

Usuwanie paliwa z wraków statków jest kluczowym zadaniem w ochronie środowiska morskiego, szczególnie w przypadku wraków zawierających znaczne ilości oleju, które mogą stanowić zagrożenie dla ekosystemów. Metody te różnią się w zależności od głębokości wraku, jego stanu, rodzaju paliwa i dostępnych technologii. W tej sytuacji zaprezentowano pełny przegląd stosowa-

nych metod, równocześnie skupiając się na omówieniu tych które mogą być wykorzystane przy analizie sytuacji wraku Stuttgart pomijając pozostałe.

Każdą z tych metod szczegółowo omówiono w ZAŁĄCZNIKU NR 4.



Rysunek 15 Diagram pokazujący wszystkie aktualnie stosowane metody usuwania paliwa z wraków

Poniżej przedstawiono szczegółowy przegląd metod, przykładów i kosztów, w tym zarówno konwencjonalnych, jak i niekonwencjonalnych podejść:

- Hot-tapping i jego warianty - to popularna metoda, polegająca na wierceniu otworów w zbiornikach paliwa i pompowaniu oleju za pomocą ROV-ów. Warianty, takie jak podgrzewanie oleju, są stosowane do paliw ciężkich. W przypadku wraku Stuttgart niemożliwa do zastosowania ze względu na aktualny stan wraku i brak dostępu do zbiorników.
- Usuwanie wraku - w niektórych przypadkach wrak lub jego części są podnoszone na powierzchnię, co pozwala na usunięcie paliwa i rozbiór wraku w stoczni. Teoretycznie możliwe do wykorzystania, ale ze względu na ogromne koszty, brak wiedzy i możliwości określenia stanu kadłuba trudna do zrealizowania - dla uzyskania pełnego obrazu technik zostanie omówiona w dalszym postępowaniu.
- Metody pasywne, takie jak eksperymentalny DIFIS (ang. *Double Inverted Funnel for the Intervention on Shipwrecks*), wykorzystują leje do zbierania wyciekającego oleju, co jest mniej inwazyjne – wrak leży na niewielkiej głębokości i stosowanie tej metody jest niecelowe.
- Inne metody takie jak budowa grodzy (cofferdam) czy uszczelnianie wycieków są rzadziej stosowane, ale mogą być skuteczne w określonych sytuacjach, kiedy wrak leży na niewielkiej głębokości. Ze względu na sytuację na wraku i w jego okolicy dalsze poszukiwania skupią się na dokładnej analizie tych metod w celu ich wykorzystania w dalszym działaniu w ramach PNZ.

4.2.1 Usuwanie Wraków

Fizyczne usuwanie wraku polega na jego podniesieniu lub demontażu i przemieszczeniu z dna morskiego. Jest to metoda bardziej złożona a także kosztowna, stosowana głównie w przypadkach, gdy wrak znajduje się w płytkich wodach, stanowi zagrożenie nawigacyjne lub zawiera znaczące ilości oleju lub innych substancji niebezpiecznych, które mogą wyciekać w przyszłości, a do których dostęp jest bardzo ograniczony i wymaga wejścia do struktur wewnętrznych. W wyjątkowych przypadkach, gdy wrak jest w zaawansowanym stanie korozji i bezpośrednie operacje byłyby zbyt ryzykowne, stosuje się także metody izolacji, takie jak przykrycie (capping) materiałami ochronnymi, które ograniczają ryzyko dalszych wycieków.

Do technik usuwania wraków zalicza się:

- Ponowne spławienie - podnoszenie wraku za pomocą pontonów lub dźwigów.
- Cięcie i demontaż - rozcinanie wraku na mniejsze części, które są następnie usuwane.
- Użycie ciężkiego sprzętu - dźwigi, barki i inne maszyny są wykorzystywane do transportu wraku na ląd lub do stoczni w celu złomowania.

Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawia Tabela 10. Operacje te wymagają szczegółowego planowania, w tym oceny wpływu na środowisko, aby zminimalizować zakłócenia w ekosystemie morskim. Ze względu na konieczność zastosowania ciężkiego sprzętu i złożoność działań, metoda ta jest znacznie droższa niż samo usuwanie paliwa. Przykładem jest Costa Concordia, której całkowite usunięcie kosztowało około 1,2 miliarda USD (1,39 mld EURO 2025), wliczając podnoszenie, transport i złomowanie (Reuters). Ostateczne wyliczenia obejmujące ubezpieczenia, usuwanie szkód środowiskowych są bliższe 2 miliardów USD (2,32 mld EURO2025).

Tabela 10. Kluczowe zalety i ograniczenia metody Usuwania Wraków

Zalety	Wady i ograniczenia
• Całkowita eliminacja ryzyka wycieków oleju w przyszłości. • Usunięcie zagrożeń nawigacyjnych dla żeglugi. • Możliwość przywrócenia ekosystemu i regeneracji środowiska morskiego.	• Wysokie koszty – od 10 mln do ponad 1 mld Euro, jak w przypadku Costa Concordia. • Złożoność techniczna – wymaga zaawansowanego sprzętu i specjalistycznej wiedzy. • Wpływ na środowisko – zakłócenia w ekosystemie, zmętnienie wody, uszkodzenie dna morskiego.

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

Przykłady operacji stosujących metodę usuwania wraków obejmują:

- Costa Concordia (Włochy): Prostowanie i podniesienie wraku metodą prostowanie, ponowne spławienie ze sponsonami, holowanie; głęb. ~20–30 m; koszt ~1,95 mld EUR; wykonawcy: Titan Salvage + Micoperi; wyzwania: deformacje kadłuba, ryzyko zsunęcia, okna pogodowe; nadzór
- MV Baltic Ace (Holandia): Pełne usunięcie wraku metodą Cut & Lift (cięcie na sekcje + dźwigi) z usunięciem paliw; głęb. ~35 m; koszt ~83,75 mln EUR; wykonawcy: Mammoet Salvage + Van Oord (kontrakt RWS); wyzwania: stabilność sekcji, surowe warunki Morza Północnego;

Źródło: opracowanie własne

4.2.2 Grodza (*Cofferdam*)

Metoda ta polega na wzniesieniu 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, ścianki Larsena, pompy oraz standardowy sprzęt budowlany. Choć technika jest powszechnie stosowana w budownictwie wodnym, przypadki jej zastosowania do usuwania paliw z wraków są nieliczne. Ze względu na złożoność prac budowlanych, koszty operacji są prawdopodobnie wysokie, jednak brak jest dokładnych danych liczbowych.

Tabela 11 Kluczowe Zalety i Ograniczenia metody Grodzy

Zalety	Wady i ograniczenia
• Zapewnia suchy, stabilny obszar roboczy i bezpośredni dostęp do zbiorników paliwa. • Umożliwia precyzyjne prace demontażowe, cięcie i czyszczenie. • Wysoka skuteczność i kontrola procesu (mniejsze ryzyko resztek w zbiornikach). • Mniejsze ryzyko niekontrolowanych wycieków do środowiska w trakcie prac. • Szczególnie efektywna w wodach płytkich, przy umiarkowanej hydrodynamice. • Wykorzystuje dojrzałe rozwiązania z budownictwa wodnego (pale, ścianki Larsena, pompy), dostępne na rynku. • Prace w „suchym” wykopie redukują ryzyko dla nurków i personelu podwodnego. • Lepsza kontrola sedymentów i potencjalnych zanieczyszczeń w obrębie grodzy. • Możliwość zastosowania barier i filtracji wody z odpompowywania. • Potencjalnie mniejsze koszty „napraw po wycieku”, dzięki lepszej kontroli prac. • Po zbudowaniu grodzy prace postępują szybko i przewidywalnie. • Dobre dla wraków blisko brzegu, na małych głębokościach, w ostnionych akwenach. • Zredukowane ryzyko rozlania w trakcie samej ekstrakcji (kontrolowane środowisko pracy). • Łatwiejsza demonstracja kontroli środowiskowej w dokumentacji.	• Wymaga pełnego obudowania wraku; ograniczona przy dużych, rozległych wrakach lub skomplikowanej geometrii dna. • Czasochłonny montaż opóźnia start właściwego usuwania paliwa. • Trudności przy silnie skorodowanych konstrukcjach utrudniających dostęp. • Ograniczona przy dużym falowaniu, silnych prądach, pływach i w strefach narażonych na sztormy. • Wymaga ciężkiego sprzętu i specjalistycznej załogi budowlanej i nurków; skomplikowana logistyka. • Ryzyko awarii grodzy (rozszerzenia, prześiąki, podmycie) – konieczny stały monitoring i redundancja pomp. • Tymczasowa ingerencja w siedliska dna (wbijanie pali/ścianek, hałas podwodny).- Ryzyko zmętnienia i zaburzeń hydrogeologicznych przy instalacji i demontażu. • Wysokie CAPEX/OPEX budowy i utrzymania grodzy; brak szeroko dostępnych twardych danych kosztowych, ale prawdopodobnie wyższe niż alternatywy w podobnych warunkach. • Długi czas przygotowania i uzgodnień (projekt, pozwolenia, budowa, testy szczelności). • Słaba opłacalność/wykonalność na większych głębokościach, przy rozległych wrakach lub miękkim, niestabilnym podłożu. Wysokie ryzyko projektowe i wykonawcze (geotechnika, posadowienie, uszczelnienie styku z dnem i kadłubem). • Złożone procedury formalne (wpływ na dno morskie, hałas, Natura 2000 itp.).

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

Kiedy metoda grodzy jest szczególnie uzasadniona

- Wrak znajduje się w płytkiej, ostnionej wodzie, blisko brzegu i infrastruktury.

- Podłoże umożliwia skuteczne posadowienie ścianek (stabilne grunty, brak głębokich namulów).
- Wymagana jest bardzo wysoka kontrola środowiskowa i jakościowa prac (np. obszary wrażliwe).
- Wrak ma ograniczone rozmiary, a lokalizacja zbiorników pozwala na efektywny obrys grodzą.

Kiedy rozważyć alternatywy

- Głębsze wody, silne prądy/falowanie, miękkie lub nierówne podłoże.
- Bardzo duże lub rozczłonkowane wraki.
- Ograniczenia czasowe i budżetowe preferujące metody szybsze w mobilizacji (np. hot tapping z barki, wypompowywanie z uszczelnieniem lokalnym, ROV z hot-tappingiem).

4.2.3 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 przedstawia Tabela 12. Kluczowe zalety i ograniczenia metody Uszczelnianie Wycieków

Proces uszczelniania obejmuje kilka kluczowych etapów:

1. Lokalizacja wycieku - wycieki identyfikowane są za pomocą nurków lub ROV wyposażonych w kamery i sensory, co jest szczególnie przydatne w głębokich lub mętnych wodach.
2. Ocena uszkodzenia - określenie wielkości, kształtu i charakteru uszkodzenia (np. mały otwór, pęknięcie, większa szczelina) w celu doboru odpowiedniej metody uszczelnienia.
3. 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.
4. Monitorowanie - po uszczelnieniu wrak jest regularnie kontrolowany za pomocą ROV lub nurków, aby zapewnić trwałość uszczelnienia i brak dalszych wycieków.

Tabela 12. Kluczowe zalety i ograniczenia metody Uszczelnianie Wycieków

Zalety	Wady i ograniczenia
• Koszty uszczelniania są znacznie niższe niż w przypadku usuwania oleju (1-10 milionów USD) (852 tys. – 8,52 mln EURO 2025) czy całego wraku (do 1,2 miliarda USD) (1,02 mld EURO 2025). • Szybkość działania - możliwość natychmiastowego zatrzymania wycieku.	• Tymczasowość - uszczelnienia, takie jak epoksydy czy neopren, mogą ulegać degradacji z czasem, szczególnie na silnie skorodowanych wrakach. • Ograniczenia techniczne - metoda jest skuteczna tylko dla małych lub średnich uszkodzeń.

• Minimalny wpływ na środowisko - w porównaniu do inwazyjnych metod uszczelnianie ogranicza zakłócenia w ekosystemie morskim, minimalizując zmętnienie wody czy uszkodzenie dna morskiego. • Wszechstronność - metoda może być stosowana w różnych warunkach i na różnych głębokościach, o ile wyciek jest dostępny dla nurków lub ROV.	• Trudności w dostępie - głębokie, mętne lub burzliwe wody wymagają zaawansowanego sprzętu i wykwalifikowanego personelu. • Ryzyko nieskuteczności - przy silnie skorodowanej powierzchni materiały uszczelniające mogą nie przylegać prawidłowo.
--	--

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

Oprócz powyższych, istnieją mniej konwencjonalne podejścia do neutralizacji paliwa zalegającego we wrakach, które są testowane lub stosowane w ograniczonym zakresie:

- Rozpuszczanie chemiczne - użycie rozpuszczalników lub emulgatorów, aby ułatwić pompowanie oleju, ale jest niepraktyczne dla dużych ilości ze względu na ryzyko środowiskowe.
- Zamrażanie lub stwardnienie oleju - teoretyczne metody, takie jak zamrażanie oleju dla łatwiejszego usunięcia, są niepraktyczne ze względu na objętość i trudności techniczne.

4.2.4 Nakrywanie (Capping)

Capping wraków to technologia in-situ polegająca na celowym przykryciu wraku i skażonych osadów warstwą materiałów sypkich (piaski, żwiry, kamień) oraz/lub betonu, często z użyciem geosyntetyków i warstw reaktywnych. Celem jest odcięcie kontaktu paliw, olejów, ładunków chemicznych i metali ciężkich z biosferą oraz stabilizacja konstrukcji wraku i dna przy jednoczesnym ograniczeniu ryzyka dla żeglugi, rybołówstwa i infrastruktury podmorskiej. Technologia wywodzi się z wieloletnich doświadczeń w cappingu skażonych osadów dennych (projekty USEPA/ITRC, Great Lakes, Onondaga Lake) i korzysta z szeroko dostępnego sprzętu hydrotechnicznego (pogłębiarki, barki zrzutowe, systemy tremie, jednostki do układania geosyntetyków).

Proces obejmuje kilka kluczowych etapów: szczegółowe rozpoznanie (batymetria, sonar, ROV/AUV, badania chemiczne i geotechniczne osadów, analiza hydrodynamiki), następnie modelowanie numeryczne transportu zanieczyszczeń i stabilności pokrywy, na podstawie którego projektuje się geometrię czapy (zasięg, grubość, nachylenia skarp), dobiera materiały i określa obciążenia projektowe. Kolejny krok to realizacja robót z użyciem kontrolowanego zrzutu materiału (z barki lub „rainbowing”), układania betonu podwodnego metodą tremie oraz geosyntetyków. Integralnym elementem jest długoterminowy monitoring (sonary, próbkowanie osadów i bioty) prowadzony przez co najmniej kilkanaście–kilkadziesiąt lat, który pozwala ocenić trwałość czapy, skuteczność izolacji zanieczyszczeń oraz stopień biologicznej rekultywacji (tworzenie nowych siedlisk, w tym potencjalnych „sztucznych raf”).

Metoda cappingu wraków jest technologią niszową, ale rosnącą w znaczeniu, szczególnie w kontekście „tykających bomb ekologicznych” z okresu II wojny światowej.

1. Główne regiony stosowania: Morze Północne (sektor offshore, dziedzictwo wojen), USA (remediacja portów), Bałtyk (badania nad bronią chemiczną).
2. Najczęstsze obiekty: Wraki z ładunkami toksycznymi (rtęć, chemikalia) oraz amunicją, których wydobywanie niesie ryzyko katastrofy.

3. Argumenty ZA: Bezpieczeństwo operacyjne (brak kontaktu z ładunkiem), niższy koszt niż salvage na dużych głębokościach, skuteczna izolacja.
4. Argumenty PRZECIW: "Zamiatanie problemu pod dywan" (problem pozostaje na dnie), konieczność wiecznego monitoringu, opór społeczny (żądanie "czystego morza").

Tabela 13 Syntetyczne zestawienie zalet i wad metody cappingu

Zalety	Wady
Natychmiastowa izolacja: Szybkie odcięcie emisji paliw i metali ciężkich do toni wodnej.	Nieodwracalność: Techniczna i ekonomiczna niemożliwość późniejszego wydobycia wraku.
Bezpieczeństwo operacyjne: Brak ryzyka przetamania wraku lub wybuchu amunicji podczas podnoszenia.	Ryzyko erozji: Możliwość rozmycia osłony przez prądy morskie i silne sztormy.
Stabilizacja fizyczna: Dociążenie wraku zapobiega jego przemieszczaniu się na dnie.	Procesy beztlenowe: Ryzyko gromadzenia się gazów i niekorzystnych przemian chemicznych (np. metylacja rtęci).
Sprawdzone technologie: Wykorzystanie dostępnego sprzętu hydrotechnicznego i znanych materiałów.	Zniszczenie siedlisk: Całkowite przykrycie i uśmiercenie istniejącego ekosystemu dennego (bentosu).
Sztuczna rafa: Kamienna osłona tworzy nowe miejsce bytowania dla fauny i flory (twarde podłoże).	Wysokie koszty mobilizacji: Bardzo drogi transport specjalistycznych jednostek w rejon prac.
Ochrona infrastruktury: Umożliwia bezpieczne układanie kabli i rur w sąsiedztwie wraku.	Długotrwały monitoring: Konieczność prowadzenia kosztownych inspekcji przez dekady (10–30 lat).
Niższy koszt inwestycyjny: Zazwyczaj tańsze i szybsze rozwiązanie niż pełne wydobycie (salvage).	Pozostawienie problemu: Źródło zanieczyszczeń nie znika, zostaje jedynie odizolowane pod dnem.
Elastyczność projektowa: Możliwość stosowania warstw aktywnych (sorbentów) i etapowania prac.	Zmiana batymetrii: Powstanie podwodnego wzniesienia może utrudniać żeglugę na płytkich wodach.
Bezpieczeństwo rybołówstwa: Zmniejszenie ryzyka zaczepienia sieci o wystające elementy wraku.	Ryzyko projektowe: Możliwość migracji zanieczyszczeń w przypadku błędnego wymodelowania szczelności czapy.

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

U-864(Niemiecki okręt podwodny z II WŚ) - Lokalizacja: Morze Północne, rejon wyspy Fedje (Norwegia). Problem: Wrak zawiera duży ładunek toksycznej rtęci; spoczywa na niestabilnym stoku. Decyzja: Rząd Norwegii wybrał capping zamiast ryzykownego wydobycia. Wykonane prace (2016): Budowa przeciwskarpy (counter fill) stabilizującej podłoże pod dziobem – zużyto ok. 100 000 m³ piasku i kamienia. Plan docelowy: Przykrycie obszaru ok. 47 000 m² (wrak + skażone osady + strefa buforowa) czystym materiałem. Cel: Trwała izolacja rtęci od środowiska morskiego.

SS Richard Montgomery (Amerykański statek typu Liberty) - Lokalizacja: Wielka Brytania, estuarium Tamizy. Problem: Wrak z II WŚ zawierający ok. 1400 ton amunicji i materiałów wybuchowych. Strategia: Monitor and stabilize (bliska analogia do cappingu). Działania: Regularne analizy batymetryczne i strukturalne. Rozważano i stosuje się elementy stabilizacji dna wokół wraku, aby zapobiec jego przetamaniu lub przemieszczeniu, co mogłoby wywołać eksplozję. Wniosek: Przekład sytuacji, gdzie "ruszanie" wraku jest zbyt niebezpieczne.

4.3 Remediacja gruntu skażonego paliwem

W tekście PNZ używane są dwa pojęcia związane z usuwaniem lub ograniczeniem wpływu paliwa na środowisko. To **Neutralizacja** - czyli kompleksowe działania zmierzające do wyeliminowania lub znaczącego ograniczenia zagrożenia jest to (termin nadrzędny) - **Remediacja** - konkretne działania techniczne mające na celu oczyszczenie skażonego środowiska - **Usuwanie** - fizyczne wydobywanie substancji niebezpiecznych - **Oczyszczanie** - synonim remediacji.

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.



Rysunek 16 Diagram metod remediacji skażonego gruntu/osadów

4.3.1 Metody *in situ*

Usuwanie Skażonych Osadów

Jest kluczowym elementem remediacji dna morskiego, szczególnie w portach, zatokach czy rzekach, gdzie osady mogą zawierać metale ciężkie, związki organiczne (np. PCB, PAH) lub substancje ropopochodne. Proces wymaga stosowania szczelnych systemów pogłębiarskich, aby zapobiec rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń w środowisku wodnym. Kluczowe zalety oraz ograniczenia metody przedstawia Tabela 14

Tabela 14. Kluczowe zalety i ograniczenia metody Usuwanie Skażonych Osadów

Zalety	Wady i ograniczenia
Pod warunkiem właściwego projektu i szczelnych technologii pogłębiarskich usuwanie skażonych osadów daje:	Ograniczona skuteczność dla głębokich/złożonych zanieczyszczeń. Działa głównie do 30–50 cm; przy >50 cm skuteczność spada o

• Redukcję ładunku zanieczyszczeń u źródła (metale ciężkie, PCB/PAH, 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. • Większą odporność na powodzie, sztormy i intensywny ruch jednostek. • Precyzyjne usuwanie „hotspotów” o najwyższych stężeniach. • Możliwość kontrolowanej obróbki ex situ (odwadnianie, oczyszczanie odcieków, stabilizacja/mycie, termiczne unieszkodliwianie). • Równoczesny rozwój infrastruktury wodnej (tory podejściowe, baseny portowe, mariny). • Odtwarzanie siedlisk (np. łąki podwodne, strefa litoralu). • Wyższą akceptację społeczną i korzyści ekonomiczne (znoszenie zakazów, poprawa atrakcyjności). • Lepszą weryfikowalność efektów (bilans masy, badania porealizacyjne).	20–30%, często potrzebne metody ex situ (Förstner & Aplitz, 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 PAH/PCB: 30–80% skuteczności, konieczny ciągły monitoring (Perelo, 2010). • Ryzyko niepełnego usunięcia. Proces generuje zawiesinę (10–15% objętości), która miesza się z materiałem narzutowym. Powoduje to nierównomierne pokrycie dna i lokalne zmniejszenie grubości warstwy, co wymaga prowadzenia prac uzupełniających. (IMO, 2015). • 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.
--	---

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

Przykłady remediacji i działań spill response:

- Hudson River PCB, USA: Remediacja osadów z PCB – selektywne pogłębianie + capping, transport/utyliczacja; koszt końcowy ~1,996 mld EUR; wykonawca: GE zgodnie z ROD, nadzór US EPA; wyzwania: resuspensja PCB, bezpieczeństwo społeczności. Pogłębiono 202 ha rzeki, usuwając około 2 mln m³ skażonego gruntu, usunięto 70 ton PCB, capping 38 ha warstwą o grubości 0,3 m,
- Kalamazoo River, USA: Usuwanie ropy (submerged oil), rekultywacja; koszt ~1,406 mld EUR; wykonawca: Enbridge pod nadzorem US EPA Region 5; wyzwanie: emulsje/agregaty przydenne; organy: US EPA R5, PHMSA, NTSB. Wylało się 3193 m³ rozcieńczonego bitumitu, który po odparowaniu lżejszych frakcji zatonął i osadził się na dnie rzeki. Skażono 2023,4 ha. Mechaniczne pogłębianie kontaminowanych osadów dennych. Transport urobku - Przetwarzanie: odwadnianie, stabilizacja, transport do licytowanej instalacji oczyszczającej. Łącznie usunięto 267 594 m³.

4.3.2 Nakrywanie (Capping)

Metoda remediacji polegająca na pokryciu skażonego dna warstwą czystego materiału, aby odizolować zanieczyszczenia i zapobiec 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. geomembrany). 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 przedstawia Tabela 15.

Tabela 15. Kluczowe zalety i ograniczenia metody Nakrywanie (Capping)

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. • 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 substancji toksycznych, takich jak paliwo, do środowiska.	• Koszty - transport i rozmieszczenie dużych ilości materiału są kosztowne. • Ryzyko erozji - w obszarach o silnych prądach warstwa może ulec uszkodzeniu. • 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.

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

Remediacja dna morskiego za pomocą pogłębiania i nakrywania to złożone procesy wymagające specjalistycznego sprzętu i starannego planowania. Pogłębiarki, takie jak chwytakowe, 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.

Przykłady remediacji i działań spill response:

- U-864, Norwegia (rtęć): Redukcja ryzyka przez capping (piasek/kruszywo/geotekstylia), rozważany lifting; głęb. ~150 m (szelf Morza Północnego); Powierzchnia 47 000 m²) planowany koszt ~182 mln EUR; (wcześniej zakładano: 1,5–2,0 mld NOK → 156,5–208,7 mln EUR (2025).
- instytucja: Kystverket; wyzwania: stabilność osadów, sztormy, akceptacja społeczna; nadzór: Kystverket, Ministerstwo Transportu, Storting.
- Oslo Harbor, Norwegia: Remediacja osadów portowych – selektywne pogłębianie (440 tys. m³ na pow. 0,55 km² głębokość do 20 m)+ capping inżynierski (0,44 km², grubość war-

stwy 0.4 m), głębokość do 70 m; koszt ~28,03 mln EUR (w przeliczeniu na wartość w 2025; instytucja: Oslo Havn KF; wyzwania: resuspensja osadów, koordynacja prac portowych; nadzór: Oslo Havn KF, Norwegian Environment Agency.

4.3.3 Bioremediacja

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 degradowuje 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, powszechnych w smole pogazowej i paliwach ciężkich, dominując w środowiskach morskich;
- *Bacillus cereus* - tlenowe, częściowo beztlenowe, degradowuje WWA z efektywnością 80,24% w 30 dni przy użyciu rhamnolipidów, działa w temperaturze do 60-70°C;
- *Mycobacterium sp.* - rozkłada zarówno niskie, jak i wysokie masy cząsteczkowe WWA w warunkach tlenowych;
- *Rhodococcus sp.* - efektywny w degradacji WWA, takich jak benzo[a]piren i fenantren, w warunkach tlenowych;
- *Klebsiella pneumoniae* - fakultatywnie beztlenowa. Naturalnie występująca na dnie morskim, (np. izolat morski tworzący biofilm/EPS) w strefach beztlenowych, rozkłada antracen, acenaften, fluoren, naftalen i mieszane WWA, działa w warunkach tlenowych i beztlenowych. Przy czym bakterie fakultatywnie beztlenowe, wykazują biodegradację wybranych WWA oraz mieszaniny WWA w warunkach hodowli.

4.3.4 Bioaugmentacja

Polega na wprowadzaniu specyficznych szczepów, może zwiększyć efektywność w takich warunkach. W otwartym środowisku morskim nie da się zagwarantować „zera ryzyka”, ale da się je realnie ograniczyć poprzez wymagania w 4 obszarach: dobór szczepu, sposób aplikacji, kontrola warunków środowiskowych oraz monitoring i kryteria stopu. Jeżeli już decydujemy się na ich użycie to potencjalne szczepy wprowadzane do środowiska muszą być bardzo dokładnie zbadane i muszą być niepatogenne dla ludzi i zwierząt, nie mogą mieć nieakceptowalnego profilu oporności na antybiotyki (AMR), najlepiej, jeśli są to szczepy autochtoniczne (lokalne) lub co najmniej „morskie”, muszą posiadać udowodnioną degradację WWA bez akumulacji bardziej toksycznych metabolitów.

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 pirotu 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.

Tabela 16 Kluczowe zalety i ograniczenia metody Bioremediacji

Zalety	Wady
• Ekologiczna, wykorzystuje naturalne mikroorganizmy (bakterie, grzyby). • Skuteczna wobec WWA, także ciężkich frakcji i smoły pogazowej. • Kooperacja bakterii i grzybów zwiększa efektywność w złożonych osadach. • Dodanie specyficznych szczepów (np. <i>Klebsiella</i> w strefach beztlenowych) podnosi efektywność. • Możliwość wsparcia przez składniki odżywcze/surfaktanty (np. rhamnolipidy).	• Z natury wolniejsza niż metody mechaniczne/chemiczne. • Skuteczność silnie zależna od warunków środowiskowych. • W strefach beztlenowych tempo niższe; konieczny dobór gatunku do warunków (np. fakultatywne beztlenowce na dnie). • Ograniczona skuteczność w beztlenowych osadach; wymagają tlenowych warstw lub doprowadzenia tlenu. • Wymaga kontroli stabilności i składu konsorcjów.

Zalety	Wady
• Działa in situ, mniejsza ingerencja fizyczna w środowisko. • Skuteczna na powierzchni i w tlenowych warstwach osadów; grzyby mogą przewyższać bakterie przy wysokich WWA. • Udokumentowane wysokie poziomy degradacji w sprzyjających warunkach (przykłady procentów i czasów powyżej). • Brak agresywnych chemikaliów; mniejsze ryzyko wtórnego skażenia.	• Ryzyko słabej kolonizacji bez właściwych warunków i składników odżywczych. • Konieczność precyzyjnego dozowania (pH, C:N, tlen); ryzyko zaburzeń mikrobiomu. Wymóg kontroli: tlenowania, pH ~7, temperatura często 30–40°C (niektóre do 60–70°C), C:N (np. 10:2). • Ograniczenia w głębokich, beztlenowych osadach; potrzebne wydłużone czasy lub natlenianie. • Pełna remediacja trwa tygodnie–miesiące; wyniki zmienne zależnie od dopasowania organizm-warunki. • Możliwe przejściowe zmiany mętności i składu mikrobiologicznego; konieczny monitoring.

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

4.4 Metody *ex situ*

4.4.1 Desorpcja Termiczna

„Technologia 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 wodnych, w tym mórz, choć stosowana głównie w procesach *ex-situ* (po wydobywaniu osadu) ze względu na trudności techniczne związane z oczyszczaniem *in-situ* pod wodą.

Proces oczyszczania osadów dennych przebiega w następującej kolejności:

- Wydobycie osadu - 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 – metoda *ex-situ* polegająca na podgrzewaniu wydobytego osadu dennego w reaktorach (np. bębnowych, fluidalnych lub ślimakowych) w celu odparowania zanieczyszczeń organicznych. Technologia jest ukierunkowana na zanieczyszczenia lotne i półlotne, w szczególności WWA (PAH) oraz inne składniki organiczne typowe dla mieszanin smołowych i ropopochodnych, które wykazują tendencję do sorpcji na cząstkach osadu. Proces prowadzi się zwykle w zakresie 300–550°C, a odparowane związki są następnie wychwytywane i oczyszczane (np. poprzez kondensację i/lub dopalanie gazów procesowych).

- 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.

Tabela 17 Kluczowe zalety i ograniczenia metody Desorpcji Termicznej

Zalety	Wady
• Bardzo skuteczna dla WWA, smoły pogazowej, paliw ciężkich, pestycydów i chloroorganicznych.- Usuwa frakcje lotne i półlotne przez odparowanie. • Gazy procesowe są wychwytywane i oczyszczane lub spalane, co minimalizuje emisje do środowiska. • Może być stosowana do gruntów lądowych i osadów dennych (szczególnie ex-situ). • Standaryzowany, kontrolowalny proces w reaktorach (bębnowe, fluidalne, ślimakowe). • Suszenie wstępne redukuje koszty ogrzewania i poprawia efektywność procesu. • Umożliwia pełne oczyszczenie poza miejscem skażenia, z dobrą kontrolą jakości. • Oczyszczony osad może spełniać normy i być wykorzystany (np. w budownictwie po stabilizacji) lub zwrócony do środowiska. • Po uruchomieniu instalacji proces jest szybki i przewidywalny. • Ograniczane dzięki zamkniętym układom i dopalaniu/adsorpcji gazów. • Możliwość ekonomicznego odzysku/ponownego użycia oczyszczonego materiału. • Dobrze skalowalna technologia z precyzyjną kontrolą parametrów (temp., przepływy).	• Wymaga wysokich temperatur (300–550°C), co zwiększa zużycie energii i koszty. • Potrzeba rozbudowanych systemów oczyszczania gazów; ryzyko emisji przy awarii/rozszczelnieniu. • In-situ pod wodą jest technicznie trudne; zwykle konieczne wydobywanie osadów. • Złożona instalacja przemysłowa; wymaga specjalistycznego sprzętu i obsługi. • Dodatkowy etap logistyczny (odwadnianie/suszenie), który wydłuża czas i zwiększa koszt. • Konieczne pogłębianie/wydobywanie i transport na ląd; wymaga sprzętu odpornego na warunki morskie i wiąże się z ryzykiem remobilizacji zanieczyszczeń. • Niekiedy potrzebna dodatkowa stabilizacja/uzdatnianie; ryzyko, że część WWA pozostanie poniżej docelowych limitów, ale nadal wymaga monitoringu. • Długi czas przygotowania: projekt, mobilizacja, wydobywanie, suszenie wstępne. • Potencjalne wycieki podczas transportu i manipulacji osadami; konieczne systemy zabezpieczeń i nadzór. • Wysokie CAPEX/OPEX (energia, reaktory, oczyszczanie gazów, logistyka morska i lądowa). • Duży ślad energetyczny i klimatyczny w porównaniu z metodami biologicznymi.

Mycie gruntu (płukanie gruntu) – technologia remediacji ex-situ polegająca na mechanicznym i/lub hydraulicznym rozdziale frakcji oraz płukaniu wydobytego, skażonego gruntu wodą lub roztworami chemicznymi (np. z dodatkiem środków powierzchniowo czynnych, chelatorów lub regulatorów pH) w celu przeniesienia zanieczyszczeń do fazy ciekłej albo skoncentrowania ich w drobnej frakcji. Metoda jest ukierunkowana na usuwanie zanieczyszczeń organicznych (m.in. WWA/PAH oraz innych składników mieszanin smołowych i ropopochodnych), które często są związane z frakcją itowo-pyłową i materią organiczną gruntu. Proces jest szczególnie przydatny do oczyszczania osadów morskich, wydobytych z dna morza, gdzie zanieczyszczenia te są często głęboko wnikięte. Analiza opiera się na literaturze, takiej jak prace Smith et al. (2015) oraz raporty EPA, które dostarczają szczegółów na temat zastosowania tej metody. Mycie gruntu (soil washing) to zaawansowana technologia remediacyjna stosowana do usuwania zanieczyszczeń, takich jak

WWA i smoły pogazowe, z gleby i osadów, szczególnie skuteczna w przypadku gruntów wydobytych z dna akwenów wodnych, w tym morskich, gdzie tradycyjne metody oczyszczania mogą być mniej efektywne.

Tabela 18 Kluczowe zalety i ograniczenia metody Mycia Gruntu

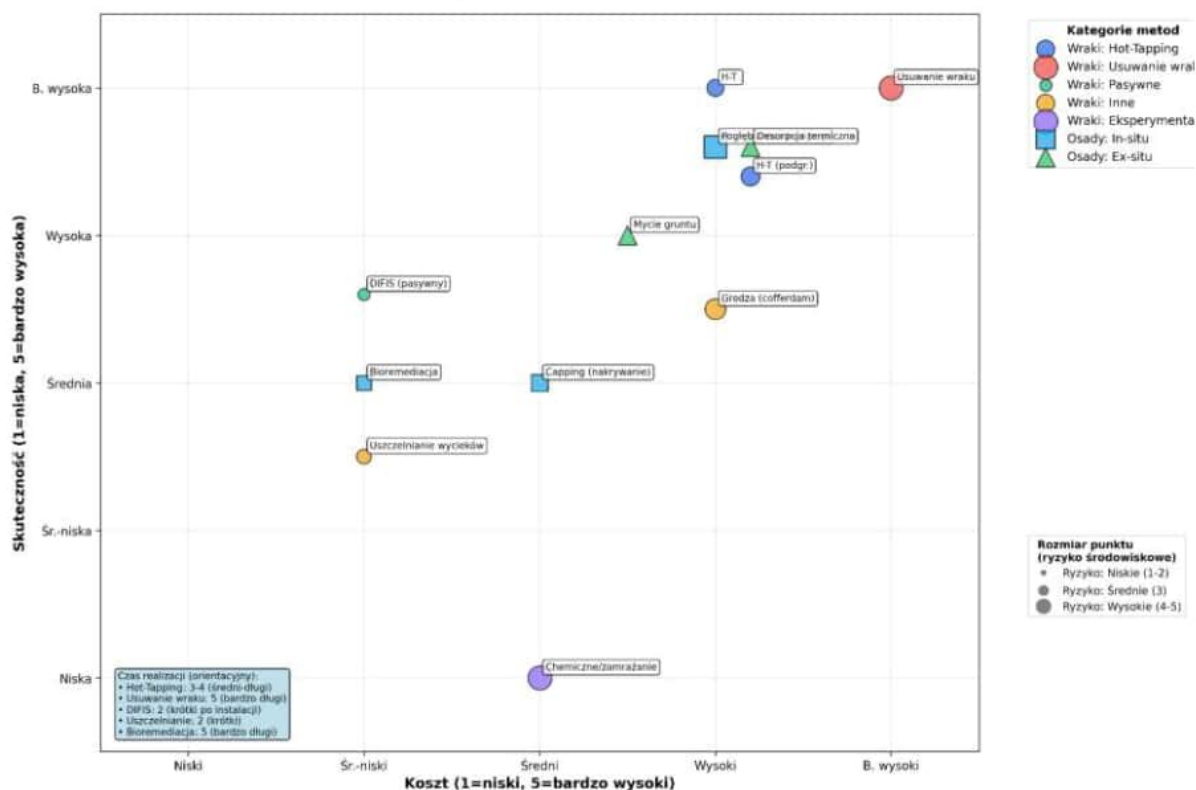
Zalety	Wady
• Zaprojektowana do usuwania WWA i smoły pogazowej z gruntów/osadów. • Szczególnie przydatna dla osadów wydobytych z dna morskiego, gdzie zanieczyszczenia są głęboko wnikięte • Technologia ex situ daje wysoką kontrolę parametrów procesu i jakości oczyszczania. • Możliwość użycia wody lub roztworów chemicznych dopasowanych do zanieczyszczeń. • Dobrze opisana w literaturze (np. Smith et al., raporty EPA), dostępne wytyczne wdrożeniowe. • Może być bardziej efektywna niż tradycyjne metody dla materiałów morskich. • Po uruchomieniu instalacji proces może przebiegać szybko i seryjnie (przetwarzanie wsadowe/ciągłe). • Redukuje zanieczyszczenia w oczyszczonym stałym materiale. • Oczyszczony grunt/osad może być zawrócony do środowiska lub użyty w budownictwie (po spełnieniu norm). • Potencjalnie tańsze niż techniki wysokotemperaturowe przy odpowiednim doborze procesu.	• Skuteczność zależy od właściwości materiału (frakcja ilasta, zawartość materii organicznej) i doboru roztworu myjącego. • Wymaga eks-situ (wydobycia materiału), co generuje koszty i ryzyko remobilizacji zanieczyszczeń podczas transportu. • Konieczna infrastruktura do płukania, separacji i gospodarki ściekami/eluatu. • Potrzeba doboru i późniejszego oczyszczania roztworów; ryzyko wtórnych odpadów płynnych. • Różnorodność konfiguracji procesowych wymaga testów pilotażowych dla konkretnego materiału. • Mniej skuteczna przy drobnoziarnistych, wysokoorganicznych osadach silnie wiążących WWA. • Czasochłonne przygotowanie: wydobycie, transport, instalacja modułów płukania. • Generuje ścieki/eluaty wymagające oczyszczenia; ryzyko emisji zapachów i wycieków. • Niekiedy konieczna dalsza stabilizacja lub łączenie z innymi metodami (np. termicznymi/biologicznymi). • Koszty operacyjne związane z obsługą mediów myjących, separacją frakcji, utylizacją eluatu i logistyką ex situ.

Tabela 19 Zestawienie metod usuwania paliwa z wraków i remediacji skażonych osadów

Metoda	Koszt orientacyjny	Skuteczność	Ryzyka / Ograniczenia	Przykłady
Usuwanie wraku (podniesienie/demon-taż)	Ekstremalnie wysokie (10 mln – 1,2 mld USD) (8,52 mln -1,02 mld EURO 2025)	Pełna eliminacja zagrożenia	Ogromny koszt, silny wpływ na środowisko, wysokie ryzyko operacyjne	<i>Costa Concordia</i> (1,02 mld EURO 2025)
Grodza (Cofferdam)	Wysokie (brak precyzyjnych danych)	Skuteczna w płytkiej wodzie	Tylko płytkie akwenty, kosztowne budowlano	–
Uszczelnianie wycieków	Niskie (1–10 mln USD) (852 tys. – 8,52 mln EURO 2025)	Średnia, skuteczne czasowo przy małych wyciekach	Tymczasowe, nietrwałe (korozja, degradacja materiałów)	<i>W.E. Hutton, Manolis L</i>

Metoda	Koszt orientacyjny	Skuteczność	Ryzyka / Ograniczenia	Przykłady
Chemiczne / zamrażanie	Zmienny, teoretyczne	Niska (praktycznie nieskuteczne)	Wysokie ryzyko środowiskowe, brak praktyki	Eksperymenty

Porównanie metod: Koszt vs Skuteczność
(Rozmiar punktu = ryzyko środowiskowe)



Rysunek 17 Porównanie metod: Koszt vs. Skuteczność

Tabela 20 Zestawienie metod remediacji skażonych osadów

Metoda	Koszt orientacyjny	Skuteczność	Ryzyka / Ograniczenia	Zastosowanie
Pogłębianie (in-situ)	Bardzo wysokie (proj. rzędu dziesiątek mln USD)	Wysoka – usuwa źródło skażenia	Zakłócenie ekosystemu, resuspensja osadów	Porty, zatoki (PCB, PAH)
Capping (nakrywanie)	Średnie	Średnia – izolacja, nie usuwa	Ryzyko erozji, migracja przez nieuszczelności	Duże akweny, gdzie usuwanie byłoby za drogie
Bioremediacja (bakterie/grzyby)	Niskie–średnie	Średnia (30–80% skuteczności)	Długotrwałe, ograniczenia w strefach beztlenowych	WWA, smoły pogazowe
Desorpcja termiczna (ex-situ)	Wysokie	Bardzo wysoka (300–550°C, usuwa WWA, smoły)	Wymaga wydobywania, instalacji lądowej	Osady, grunty silnie skażone
Mycie gruntu (soil washing, ex-situ)	Średnie–wysokie	Wysoka dla paliw i WWA	Konieczne wydobywanie, odpady płuczkowe	Osady wydobyte z dna akwenów

4.5 Neutralizacja amunicji konwencjonalnej we wrakach lub w otoczeniu wraków

Niewybuchy (UXO) pozostające we wrakach, 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.



Rysunek 18 Diagram Metod Neutralizacji amunicji konwencjonalnej i chemicznej

Techniki usuwania amunicji na wrakach są zróżnicowane i dostosowane do specyfiki każdego przypadku, z uwzględnieniem bezpieczeństwa, kosztów i ochrony środowiska. Metody stosowane w praktyce obejmują:

Unikanie - metoda stosowana szczególnie w odniesieniu do planowanych inwestycji, w przypadku których projekty są tak planowane, aby uniknąć obszarów z niewybuchami. Jest to preferowana metoda, jeśli ryzyko jest niskie, a uniknięcie jest wykonalne.

Unieszkodliwianie na miejscu – niszczenie amunicji na dnie morskim, najczęściej poprzez detonację. Istnieją dwie główne metody:

- detonacja wysokiego rzędu - pełna eksplozja, stosowana, gdy inne metody są niemożliwe, generująca wysoki poziom hałasu, zagrażający życiu morskemu.
- deflagracja niskiego rzędu - mniej gwałtowna metoda, polegająca na spalaniu lub kontrolowanym unieszkodliwianiu, z niższym poziomem hałasu, co jest korzystniejsze dla środowiska (Exploring Environmentally Safer UXO Disposal Methods).

W Morzu Bałtyckim, ze względu na wymagania środowiskowe, możliwe jest stosowanie kurtyny bąbelkowej 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).

Relokacja i odzysk amunicji – przeniesienie amunicji z wraku do bezpiecznego miejsca, w tym także na ląd, gdzie jest poddawana kontrolowanemu unieszkodliwianiu. 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 Lubeckiej¹³.
- odzysk i utylizacja na lądzie – wydobywanie UXO i przekazanie do wyspecjalizowanych jednostek EOD do trwałej neutralizacji. Jest to rozwiązanie preferowane, gdy możliwe, ale wymagające specjalistycznego sprzętu i nurków EOD (*Explosive Ordnance Disposal*), jak w operacjach NATO w Morzu Bałtyckim¹⁴.

W celu usunięcia amunicji z wraków 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.

Monitorowanie i działania zapobiegawcze - stosowane, gdy usunięcie jest niemożliwe, np. w przypadku wraków o znaczeniu historycznym. Przykładem jest SS Richard Montgomery, gdzie usunięto maszt, aby zmniejszyć ryzyko ich upadku i potencjalnej detonacji¹⁵. Działanie obejmuje stałe obserwacje i ustanawianie stref bezpieczeństwa.

Zabezpieczenie in situ polega na umieszczaniu amunicji w szczelnych, trwałych zasobnikach – np. z siarkobetonu (odpornego na korozję, ciśnienie wody i uszkodzenia mechaniczne) lub ze stali

¹³ Environmental impact of unexploded ordnance in the Baltic Sea | ScienceDaily

¹⁴ Royal Navy divers help clear the Baltic Sea of unexploded ordnance

¹⁵ Maritime and Coastguard Agency (MCA). Report on the Wreck of the SS Richard Montgomery (November 2000). PDF: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5df10b40ed915d15f5b25b70/2000_sondaż_report_montgomery.pdf

– instalowanych na dnie morza. Zlokalizowane obiekty przenosi się do zasobników z siarkobetonu, które następnie wypełnia się dodatkową warstwą tego materiału, tak aby całkowicie otoczyć UXO, po czym zamyka pokrywą z siarkobetonu, zapewniając pełną szczelność i nieprzepuszczalność, co eliminuje ryzyko wycieków substancji niebezpiecznych. Tak zabezpieczone materiały są oznakowane i wyposażone w systemy monitorujące ich stan.

Metoda ta stanowi innowacyjne rozwiązanie, oferujące istotne korzyści w zakresie bezpieczeństwa, ochrony środowiska i efektywności kosztowej. Jednocześnie wyzwaniem pozostają: potencjalne utrudnienia przy ewentualnym przyszłym usuwaniu UXO, wysokie koszty początkowe oraz brak udokumentowanych wdrożeń na większą skalę, co wskazuje na potrzebę dalszych badań i testów w warunkach rzeczywistych.

4.5.1 Likwidacja zagrożenia w miejscu zalegania

4.5.1.1 Neutralizacja przy użyciu nurków

Detonacja - za pomocą ładunków wybuchowych

Pełna eksplozja, stosowana, gdy inne metody są niemożliwe, generująca wysoki poziom hałasu, zagrażający życiu morskemu. Jest to metoda najtańsza, najszybsza i najbardziej skuteczna, gdyż MWiN ulega całkowitemu zniszczeniu. Metoda ta polega na przyłożeniu właściwej ilości materiałów wybuchowych w odpowiednim miejscu w zależności od rodzaju MWiN a następnie jego detonacji.

W przypadku gdy po przeprowadzeniu rozpoznania rodzaj MWiN nie pozwala na zmianę jego położenia z uwagi na niebezpieczeństwo niekontrolowanego wybuchu, metoda ta może być stosowana w miejscu znalezienia MWiN. W przypadku, gdy MWiN będzie niszczone w miejscu wykrycia a w pobliżu znajdują się ważne obiekty hydrotechniczne lub instalacje podwodne należy rozważyć inną metodę neutralizacji, dzięki której zmniejszy się ryzyko uszkodzenia tych elementów.

W przypadku gdy występuje możliwość transportu MWiN w wyznaczone miejsce niszczenia np. na poligon morski lub lądowy, na którym wpływ na infrastrukturę hydrotechniczną i środowisko naturalne będzie minimalny, w takim przypadku najczęściej stosuje się metodę wybuchową.

Gdy obiekt nie stwarza bezpośredniego zagrożenia, może zostać wydobyty na powierzchnię przez wykwalifikowany personel np. Zespół Rozminowania Grupy Nurków Minerów. Po wydobyciu i przetransportowaniu na brzeg obiekt zostaje przekazany Patrolowi Saperskiemu, który transportuje 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.

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](#)).

Tabela 21 Kluczowe zalety i ograniczenia metody Detonacja

Zalety	Wady i ograniczenia
- Najbardziej skuteczna: pełna neutralizacja/całkowite zniszczenie obiektu, eliminujące dalsze zagrożenie. - Najszybsza: najszybsza realizacja w porównaniu z alternatywami. - Najtańsza: relatywnie najniższe koszty sprzętowo-czasowe. - Bezpieczeństwo zespołu: zdalna inicjacja ogranicza ekspozycję nurków i personelu. - Zastosowanie in situ: możliwa, gdy przemieszczenie MWiN jest zbyt ryzykowne. - Elastyczność operacyjna: w miejscu znalezienia lub po transporcie na poligon morski/lądowy, co w sprzyjających scenariuszach 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.	- Wysoki poziom hałasu i wstrząsów: zagrożenie dla ssaków morskich i ryb; konieczne strefy wyłączenia i środki łagodzące (np. kurtyny bąbelkowe – powszechne w Bałtyku). - Największy negatywny wpływ środowiskowy: metoda najmniej preferowana w obszarach wrażliwych. - Ryzyko dla infrastruktury: możliwość uszkodzeń obiektów hydrotechnicznych, kabli i rurociągów, zwłaszcza przy niszczeniu w miejscu wykrycia. - Rozproszenie odłamków i osadów: ryzyko wtórnego zanieczyszczenia i ewentualnego uwolnienia substancji toksycznych z historycznych ładunków. - Wymogi regulacyjne: pozwolenia środowiskowe, koordynacja z administracją morską, ograniczenia sezonowe (np. okresy bytowania gatunków wrażliwych). - Logistyka operacyjna: wyznaczanie stref bezpieczeństwa, czasowe wstrzymanie żeglugi/rybołówstwa, zabezpieczenie perymetru. - Zależność od warunków morskich: pogoda, prądy i widoczność mogą opóźniać działania. - Ryzyko detonacji sympatycznej: wzbudzenie pobliskich obiektów lub przedwczesna inicjacja niestabilnych MWiN. - Ograniczona akceptowalność w wrażliwych lokalizacjach (porty, farmy wiatrowe, Natura 2000): konieczność rozbudowanych mitigacji zwiększa koszt i czas. - Możliwa konieczność wieloetapowych detonacji przy dużych obiektach, co kumuluje oddziaływania akustyczne. - Aspekt społeczny/PR: negatywny odbiór związany z hałasem i wpływem na faunę. - Ograniczona stosowalność: preferowana głównie wtedy, gdy inne metody są niemożliwe lub przemieszczenie jest zbyt ryzykowne. - Wymóg specjalistycznego personelu i transportu: w scenariuszach wydobywania i przewozu (np. przez zespoły nurków i patroly saperskie) proces jest złożony i podatny na opóźnienia.

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

Deflagracja - za pomocą ładunków kumulacyjnych - 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.

Tą metodę najczęściej stosuje się w przypadku, gdy nie ma możliwości przetransportowania MWiN 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 niewybuch nie stwarzał 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 - podwodne kształtki kumulacyjne, to 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 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 umiejscowiony 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.

Tabela 22. Kluczowe zalety i ograniczenia metody Deflagracja

Zalety	Wady i ograniczenia
• Mniej gwałtowna niż detonacja: spalanie/ kontrolowane unieszkodliwianie zamiast pełnej eksplozji.	• Ryzyko przejścia w niekontrolowaną detonację podczas procesu. • Nie gwarantuje całkowitego zniszczenia: często wymaga dalszych działań; gdy konieczna

Zalety	Wady i ograniczenia
- Niższy poziom hałasu i mniejsza fala wstrząsowa: korzystniejsze dla środowiska morskiego (mniejsze ryzyko dla ssaków i ryb). - Mniejsze oddziaływanie na środowisko i infrastrukturę: nawet częściowa deflagracja zmniejsza masę ładunku zasadniczego, redukując strefę oddziaływań oraz ryzyko uszkodzeń obiektów hydrotechnicznych, kabli i rurociągów. - Neutralizacja in situ: szczególnie gdy transport obiektu do miejsca niszczenia jest niemożliwy. - Precyzyjne cele neutralizacji: otwarcie korpusu, rozczłonkowanie, „odcięcie” detonatora/mechanizmów, uzyskanie dostępu do ładunku zasadniczego lub jego spalanie; czyni obiekt funkcyjnie niesprawnym. - 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.	jest pełna eliminacja, preferowana bywa detonacja. - Złożoność techniczna i operacyjna: silna zależność od typu UXO, geometrii i bardzo precyzyjnego umiejscowienia ładunków; wyższe wymagania szkoleniowe. - Wymóg specjalistycznego osprzętu: statywy, stożki tworzące przestrzeń powietrzną, elastyczne osłony; przygotowania bardziej złożone, zwłaszcza pod wodą. - 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 pozostają: strefy bezpieczeństwa, koordynacja, potencjalne ograniczenia sezonowe. - Możliwie wyższe koszty i dłuższy czas przygotowań niż przy detonacji, mimo mniejszego oddziaływania akustycznego.

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

4.5.1.2 Neutralizacja przy użyciu pojazdu podwodnego

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 MWiN.

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 minerów, którzy podczepiają go do lin i tańcuchów min kotwicznych, powodując ich przecięcie i wyptynięcie miny na powierzchnię.

Detonacja za pomocą zdalnie sterowanego, samobieżnego ładunku wybuchowego jednorazowego użytku - (przykład: „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 przeznac-

czony jest do zniszczenia zapalnika lub pobudzenia ładunku miny poprzez bezpośrednie działanie strumienia kumulacyjnego.

Pojazd wodzi się z okrętu z użyciem 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 (USBL/ultra-krótkobazowy) oraz okrętowe stacje hydrolokacyjne. Pojazd posiada 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 za prądowej i ustawia głowicę tak, aby strumień kumulacyjny trafił w wybrane 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.

Monitorowanie in situ i działania zapobiegawcze - stosowane, gdy usunięcie jest niemożliwe, np. w przypadku wraków o znaczeniu historycznym. Przykładem jest SS Richard Montgomery, gdzie usunięto maszty, aby zmniejszyć ryzyko ich upadku i potencjalnej detonacji¹⁶. Działanie obejmuje stałe obserwacje i ustanawianie stref bezpieczeństwa.

Zabezpieczenie in situ - poprzez umieszczanie amunicji w szczelnych zasobnikach wykonanych z siarkobetonu lub innych zasobnikach wykonanych np. ze stali na dnie morza, tak jak to już opisano wcześniej.

Relokacja i odzysk amunicji – 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 Lubeckiej¹⁷.
- odzysk i utylizacja na lądzie – wydobywanie UXO i przekazanie do wyspecjalizowanych jednostek EOD do trwałej neutralizacji. Jest to rozwiązanie preferowane, gdy możliwe, ale wy-

¹⁶ Maritime and Coastguard Agency (MCA). Report on the Wreck of the SS Richard Montgomery (November 2000). PDF: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5df10b40ed915d15f5b25b70/2000_survey_report_montgomery.pdf

¹⁷ Environmental impact of unexploded ordnance in the Baltic Sea | ScienceDaily

magające specjalistycznego sprzętu i nurków EOD (*Explosive Ordnance Disposal*), jak w operacjach NATO w Morzu Bałtyckim¹⁸.

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 wypetnione powietrzem (w sposób zdalny). Po wypłynięciu ładunku na powierzchnię – można rozpocząć holowanie.
- lin do podnoszenia - podniesiony bezpośrednio na pokład jednostki w przypadku braku zagrożenia wybuchem. Jeżeli podnoszony jest jakiś 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. W 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.

Tabela 23. Kluczowe zalety i ograniczenia metody wydobycia i neutralizacji

Zalety	Wady i ograniczenia
• Zwiększone bezpieczeństwo i minimalizacja ryzyka in situ: przeniesienie UXO z obszarów wrażliwych (kable, rurociągi, farmy wiatrowe, porty) ogranicza lokalny hałas, wstrząsy i ryzyko dla infrastruktury. • Pełna, kontrolowana neutralizacja na lądzie: przekazanie do wyspecjalizowanych jednostek EOD umożliwia trwałe i bezpieczne	• Wyższe koszty i czasochłonność niż detonacja in situ: wymagany specjalistyczny sprzęt (ROV, pontony, liny, osprzęt amagnetyczny) oraz rozbudowana logistyka. • Zależność od warunków morskich i środowiskowych: pogoda, prądy, widoczność, głębokość oraz dostępność sprzętu ograniczają okna operacyjne.

¹⁸ [Royal Navy divers help clear the Baltic Sea of unexploded ordnance](#)

Zalety	Wady i ograniczenia
unieszkodliwienie z dostępem do procedur i zaplecza technicznego. • Redukcja długoterminowego ryzyka: usunięcie źródeł potencjalnych wycieków i zagrożeń z dna morskiego (w tym z wraków). • Elastyczność operacyjna: relokacja do wyznaczonego, bezpiecznego akwenu/poligonu ułatwia planowanie względem pogody, żeglugi i ograniczeń środowiskowych. • Dostosowanie do warunków: możliwość użycia różnych technik (nurkowie, ROV, liny podnoszące, pontony), co pozwala działać na różnych głębokościach i w płytkich wodach. • Zwiększone bezpieczeństwo personelu: wykorzystanie ROV ogranicza ekspozycję nurków na bezpośredni kontakt z ładunkiem. • Lepsza identyfikacja i dokumentacja: umożliwia klasyfikację, pobór próbek, zabezpieczenie dowodów i dobór optymalnej metody neutralizacji. • Minimalizacja ryzyka detonacji w miejscu znalezienia: przeniesienie do bezpiecznego akwenu/ładu, zachowanie promienia bezpiecznego i użycie narzędzi amagnetycznych. • Odblokowanie inwestycji i żeglugi: usunięcie zagrożeń z torów wodnych i placów budowy redukuje przestoje. • Wsparcie instytucjonalne: programy pilotażowe (np. w Morzu Bałtyckim) promują zrównoważone podejście i mogą zapewniać finansowanie.	• Ryzyko inicjacji podczas manipulacji: podnoszenia, holowania i transportu lądowego; konieczne utrzymanie promienia bezpiecznego i niskich prędkości. • Ograniczenia masy i stanu technicznego: duże gabaryty, korozja, niestabilne zapalniki mogą uniemożliwić bezpieczny odzysk lub wymagać przywrócenia do stanu bezpiecznego przed podniesieniem. • Ograniczona stosowalność w skupiskach UXO: ryzyko detonacji sympatycznej i trudność selektywnego wydobywania w gęsto zaminiowanych rejonach. • Potencjalne uwolnienie zanieczyszczeń: naruszenie osadów/rozszerzenie może uwolnić substancje toksyczne z wnętrza amunicji. • Wymogi prawne i koordynacyjne: pozwolenia, strefy wyłączenia, zgodność z ADR i utrzymanie łańcucha przekazania. • Ryzyka operacyjne sprzętowe: awarie pontonów/zaworów, zaczepienie o przeszkody podwodne, utrata pływalności lub upadek ładunku na pokład. • Kolizje z ochroną dziedzictwa: ograniczenia przy wrakach-zabytkach i mogiłach morskich. • Wymagania kadrowe: potrzeba zespołów EOD i wysoko wykwalifikowanych nurków/operatorów ROV ogranicza dostępność i może wydłużać terminy.

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

4.6 Podsumowanie

Przegląd dostępnych metod neutralizacji pokazuje, że nie istnieje jedno uniwersalne rozwiązanie. Wybór techniki zależy od rodzaju zagrożenia (paliwo, osady, amunicja), głębokości 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). Poniższa tabela syntetyzuje główne podejścia, wskazując ich status, zalety i ograniczenia.

Tabela 24. Podsumowanie głównych metod neutralizacji/remediacji zagrożeń występujących na opisywanym obszarze.

Metoda	Rodzaj zagrożenia	Status (stosowana/testowa / innowacyjna)	Kluczowe zalety	Kluczowe ograniczenia
Usuwanie wraków	Paliwo w zbiornikach i cały wrak	Stosowana w wyjątkowych przypadkach	Całkowite wyeliminowanie ryzyka; usunięcie	Bardzo wysokie koszty (>1 mld USD) (> 852mln EURO 2025);

Metoda	Rodzaj zagrożenia	Status (stosowana/testowa / innowacyjna)	Kluczowe zalety	Kluczowe ograniczenia
podnoszenie lub demontaż wraku			przeszkód nawigacyjnych	znaczne zakłócenia środowiska
Grodza (Cofferdam) tymczasowa grodza wokół wraku	Paliwo w zbiornikach i cały wrak	Stosowana sporadycznie	Zapewnia suchy dostęp do zbiorników	Bardzo kosztowna i trudna technicznie; ograniczona do płytkich wód
Uszczelnianie wycieków tymczasowe zamknięcie otworów (np. epoksydy, uszczelniacze)	Paliwo w zbiornikach (wycieki)	Stosowana doraźnie / tymczasowo	Szybka, relatywnie tania; ograniczony wpływ na środowisko	Tymczasowe rozwiązanie; ograniczona skuteczność przy dużych uszkodzeniach
Capping wraków przykrycie materiałami ochronnymi (piasek, glina, geotekstylia)	Paliwo w zbiornikach (skorodowane wraki)	Stosowana sporadycznie	Izolacja toksyn bez ingerencji w strukturę wraku	Trudność zapewnienia trwałości izolacji; ryzyko erozji warstwy
Remediacja osadów pogłębianie, capping, bioremediacja	Skażone osady wokół wraków	Pogłębianie/capping – stosowane; bioremediacja – testowa/R&D	Redukcja ryzyka dla ekosystemów; izolacja zanieczyszczeń	Wysokie koszty; ograniczona głębokość; bioremediacja wymaga dalszych badań
Neutralizacja amunicji – unikanie planowanie inwestycji poza obszarami z UXO	Amunicja (UXO)	Stosowana	Najbezpieczniejsza metoda; niskie koszty	Nie zawsze możliwa w praktyce (np. przy infrastrukturze)
Neutralizacja amunicji – detonacja / deflagracja niszczenie amunicji pod wodą (eksplozja lub spalanie)	Amunicja (UXO)	Stosowana	Skuteczna i szybka neutralizacja	Wysoki hałas i wstrząsy; ryzyko dla organizmów morskich
Neutralizacja amunicji – relokacja i odzysk przeniesienie lub wydobywanie UXO do bezpiecznej utylizacji	Amunicja (UXO)	Stosowana (NATO, Niemcy – Bałtyk)	Trwałe usunięcie zagrożenia; możliwość kontrolowanej utylizacji	Ryzyko podczas transportu; wysokie koszty; wymaga specjalistycznego sprzętu
Zabezpieczenie in situ (siarkobeton) trwałe kapsułowanie amunicji na dnie	Amunicja (UXO)	Innowacyjna, brak wdrożeń	Długotrwała izolacja; brak emisji substancji	Wysokie koszty początkowe; brak przykładów zastosowań; trudności z późniejszym usunięciem

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

5 Studia przypadków

Podsumowanie przykładów zrealizowanych projektów
Odniesienie do Załącznika x: Studia Przypadków.

Poniżej przedstawiono scaloną analizę metod usuwania wraków oraz substancji niebezpiecznych ze szczególnym uwzględnieniem kosztów przeliczonych do EUR 2025, opartą o zrealizowane projekty usuwania wraków. Podsumowanie przedstawiono w tabelach z kosztami, ryzykami i rezultatami

5.1 Pełne usunięcie wraku przez cięcie i podnoszenie (cut & lift)

Opis metody:

Segmentacja kadłuba (cięcie drutem diamentowym), podnoszenie sekcji ciężkimi dźwigami pływającymi, transport i utylizacja. Poprzedzone usunięciem paliw i substancji niebezpiecznych.

Przypadek: MV Baltic Ace (Holandia, 2014–2015)

- Lokalizacja: Morze Północne, głębokość ~35 m.
- Koszty: 67 mln EUR (2014); po przeliczeniu na EUR 2025: ~83,75 mln EUR.
- Ryzyka: warunki morskie, stabilność sekcji.
- Rezultat: pełne usunięcie wraku, przywrócenie bezpieczeństwa żeglugi.
- Źródła: Rijkswaterstaat, Kamerstukken.

5.2 Capping wraków (przykrywanie warstwami ochronnymi)

Opis metody:

Izolacja źródła zanieczyszczeń (np. metale ciężkie) przez warstwy piasku, kruszywa, geotekstyliów.

U 864 (Norwegia) – capping wraku z rtęcią

- Lokalizacja i obiekt: Morze Północne (rejon Fedje); wrak niemieckiego okrętu podwodnego z II wojny światowej z ładunkiem rtęci.
- Cel: Izolacja rtęci i skażonych osadów od ekosystemu morskiego.
- Realizacja: Rząd Norwegii wybrał metodę cappingu (przykrycia) zamiast wydobywania, które uznano za zbyt ryzykowne. W 2016 r. wykonano stabilizację stoku (100 tys. m³ piasku i kamienia), a docelowa czapa ma objąć 47 tys. m² dna.
- Wnioski: Capping na stoku podmorskim jest wykonalny, ale wymaga wcześniejszego wzmocnienia dna oraz stałego, długotrwałego monitoringu.)
- Zakładany koszt programu: 1,5–2,0 mld NOK → 156,5–208,7 mln EUR (2025).
- Źródła: Kystverket, Ministerstwo Transportu Norwegii.

5.3 Remediacja osadów (pogłębianie, capping, bioremediacja)

Opis metody:

Selektywne pogłębianie, transport, utylizacja, capping inżynierski, monitoring.

Przypadki:

1. Hudson River PCB (USA):
koszt 1,7 mld USD → 1,996 mld EUR (2025).
2. Kalamazoo River (USA):
 - koszt >1,2 mld USD → 1,651 mld EUR (2025).
3. Oslo Harbor (Norwegia):
 - koszt 450 mln NOK → 52,83 mln EUR (2025).
 - Źródła: US EPA, Oslo Havn KF, Norwegian Environment Agency.

5.4 Przypadek mieszany:

Opis metody:

Metoda łączy dwa działania tj. częściowy demontaż + czyszczenie

Przypadek: MV Rena (Nowa Zelandia, 2011–2016)

- Koszty: właściciel/ubezpieczyciel: 500–700 mln NZD → 339–474 mln EUR (2025); sektor publiczny: 47 mln NZD → 31,85 mln EUR (2025).
- Rezultat: częściowe usunięcie, długotrwały monitoring.
- Źródła: Maritime NZ, TAIC, Bay of Plenty Regional Council.

Tabela 25 Zestawienia kosztów w cenach wykonania oraz cenach odniesionych do roku 2025 (EUR 2025)

Wrak / Projekt	Metoda	Koszt historyczny	EUR 2025 (szac.)
Costa Concordia	Prostowanie + ponowne spławienie	~1,5 mld EUR (2014)	1,80–1,95 mld EUR
MV Baltic Ace	Cut & Lift	67 mln EUR (2014)	83,75 mln EUR
SS Jacob Luckenbach	Hot tapping + wypompowanie	19 mln USD (2003)	30,33 mln EUR
MV Princess Kathleen	Hot tapping + cofferdamy	12,5 mln USD (2011)	16,06 mln EUR
MV Manolis L	Cofferdamy + uszczelnienia	15 mln CAD (2018)	12,24 mln EUR
Tank Barge Argo	Uszczelnienia + odzysk	5,8 mln USD (2016)	7,08 mln EUR
U-864	Capping	1,5–2,0 mld NOK (2019)	156,5–208,7 mln EUR
Hudson River PCB	Remediacja osadów	1,7 mld USD (2015)	1,996 mld EUR
Kalamazoo River	Remediacja ropy	>1,2 mld USD (2010–14)	1,651 mld EUR
Oslo Harbor	Remediacja osadów	450 mln NOK (2012)	52,83 mln EUR
MV Rena (właściciel)	Częściowy demontaż + cleanup	500–700 mln NZD (2014)	339–474 mln EUR
MV Rena (public)	Cleanup + monitoring	47 mln NZD (2014)	31,85 mln EUR

Uwaga: Metodyka przeliczeń: oparta na oficjalnych wskaźnikach CPI/HICP i kursach ECB. Patrz ZAŁĄCZNIK 5.

5.5 Usuwanie niewybuchów – omówienie metod

Niniejsze podsumowanie koncentruje się na rzeczywistych przykładach metod stosowanych do neutralizacji zalegających niewybuchów, wraz z omówieniem studiów przypadków i przeliczonych kosztów w walucie EUR 2025.

5.5.1 Detonacja/Deflagracja *In Situ* (Low-Order/High-Order)

Metoda ta polega na zniszczeniu obiektu w miejscu jego znalezienia.

Opis Techniczny

1. **Low-order (Deflagracja):** Ma na celu ograniczenie energii inicjacji głównego ładunku poprzez zastosowanie ładunków kumulacyjnych/odciążających, co prowadzi do powolnego spalania materiału wybuchowego i może zredukować energię finalnej detonacji. Ryzyko przejścia deflagracji w pełną detonację (*high-order*) pozostaje.
2. **High-order (Detonacja Kontrolowana):** Pełna, natychmiastowa destrukcja ładunku. W akwenach wrażliwych środowiskowo (np. obszary Natura 2000) wymaga **środków redukujących hałas podwodny** (mitigacji), takich jak **kurtyny bąbelkowe** (*bubble curtains*), **odstraszacze akustyczne** (*pingery, seal scarers*) oraz monitoring fauny morskiej (*whale watchers*).

Studia Przypadków

1. **Tallboy, Świnoujście (Polska, 2020):** Zastosowano technikę *low-order* (deflagrację) z modułowym ładunkiem kumulacyjnym, poprzedzoną wydobyciem około **400 PWiN (ok. 3 t)** w promieniu 200 m. W trakcie inicjacji doszło do przejścia deflagracji w detonację, jednak analiza danych wskazała na **redukcję około 37% ładunku głównego**, co złagodziło finalne skutki (brak odłamkowania i szkód infrastrukturalnych). Kluczowym ryzykiem była niepewność przejścia w detonację oraz zarządzanie ewakuacją. **Brak oficjalnie publikowanych kosztów jednostkowych.**
2. **2020 – Gdynia (operacja „Mina”):** Niemiecka mina morska GC o masie ładunku około 1000 kg TNT, zlokalizowana w rejonie wejścia do Portu Gdynia, została podniesiona z dna, odholowana i zdetonowana kontrolowanie przez Grupę Nurków Minerów 8 FOW w odległości 3 km od brzegu na wysokości Kępy Redłowskiej. Ustanowiono strefę bezpieczeństwa o promieniu 10 750 m, wprowadzono zakaz kąpieli na odcinku Rewa–Westerplatte, zamknięto marinę oraz zakazano przebywania na terenach otwartych przy porcie; brak szczegółowych danych o działaniach łagodzących wpływ na środowisko.
3. **2021 – Gdynia (nabrzeże portowe):** Niezidentyfikowany niewybuch podwodny, prawdopodobnie pochodzący z II wojny światowej, został zneutralizowany przez specjalistów Marynarki Wojennej w rejonie nabrzeża portowego przy Muzeum Emigracji. W ramach zabezpieczenia operacji ewakuowano Kapitanat Portu i Muzeum Emigracji, usunięto cumujące statki oraz wyłączono z użytkowania Nabrzeże Francuskie; brak danych o działaniach środowiskowych.
4. **2022 (październik) – Port Gdynia:** Pięć niewybuchów – trzy bomby lotnicze po 500 kg oraz dwie miny GC po 1000 kg – zlokalizowanych wewnątrz portu (bomby) oraz w awanporcie i redzie (miny) zostało zniszczonych sekwencyjnie, po jednym obiekcie dziennie, przez

Grupę Nurków Minerów 13 Dywizjonu Trałowców. Ustanowiono strefę bezpieczeństwa 11 km od brzegu na odcinku Babie Doły–Westerplatte, wprowadzono ewakuację w promieniu 750 m z zakazem przebywania na otwartym terenie oraz zakaz kąpeli; brak szczegółowych danych o działaniach łagodzących wpływ na środowisko.

5. **2022 (grudzień) – Awanport Gdynia:** Mina GC o masie ładunku około 1000 kg, zlokalizowana w rejonie awanportu, została zneutralizowana przez Grupę Nurków Minerów 13 Dywizjonu Trałowców. Przed detonacją przeprowadzono płoszenie ssaków morskich i ptaków zgodnie z decyzją Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska, ustanowiono strefę ewakuacji o promieniu 750 m oraz wprowadzono zakaz kąpeli na odcinku Babie Doły–Westerplatte.
6. **2023 (październik) – Port Gdynia:** Mina GC oraz bomba lotnicza AN-M59 o łącznej masie materiału wybuchowego około 1200 kg, zlokalizowane w rejonie Portu Gdynia, zostały podniesione pontonem, odtransportowane i zdetonowane kontrolowanie przez Grupę Nurków Minerów 13 Dywizjonu Trałowców w odległości 5 km w głąb Zatoki na wysokości Gdyni Redłowa. Przed detonacją przeprowadzono płoszenie ssaków morskich i ptaków zgodnie z decyzją RDOŚ, ustanowiono strefę ewakuacji o promieniu 750 m (Skwer Kościuszki), wprowadzono zakaz kąpeli na odcinku Mechelinki–Westerplatte oraz wysłano alert RCB w formie SMS.
7. **2024 – Zatoka Gdańska (rejon FSRU):** Dwadzieścia cztery pociski artyleryjskie kalibru 210 mm o łącznej masie materiału wybuchowego około 500 kg, zlokalizowane w rejonie budowy terminalu FSRU, zostały odholowane w toni wodnej do miejsca niszczenia uzgodnionego z Urzędem Morskim w Gdyni i RDOŚ. Ustanowiono strefy bezpieczeństwa na wodzie, wprowadzono ograniczenia żeglugi i korzystania z plaż oraz wysłano alerty RCB; brak szczegółowych danych o płoszeniu zwierząt.
8. **2025 – Zatoka Gdańska (FSRU, Wyspa Sobieszewska):** Około 100 pocisków artyleryjskich oraz bomba lotnicza o łącznej masie ekwiwalentu TNT około 1200 kg, zlokalizowane w rejonie budowy FSRU, zostały zneutralizowane w tempie kilkudziesięciu obiektów dziennie w zależności od warunków morskich. Wprowadzono zakaz wchodzenia do wody na odcinku Stogi–Orle (około 9 km) oraz ustanowiono strefy i ograniczenia żeglugowe; brak szczegółowych danych o działaniach środowiskowych.

Operacje neutralizacji niewybuchów prowadzone przez Marynarkę Wojenną RP (Grupa Nurków Minerów 13. Dywizjonu Trałowców, 8. Flotylla Obrony Wybrzeża) nie są publicznie raportowane pod kątem kosztów.

Brak transparentności finansowej – komunikaty oficjalne (Urząd Morski w Gdyni, 8 FOW, media) koncentrują się na aspektach operacyjnych i bezpieczeństwa, pomijając kwestie budżetowe.

Dla porównania przedstawiono jedną operację usuwania UXO w Niemczech wraz z informacją o kosztach operacji.

9. **Fehmarnbelt Fixed Link (Dania/Niemcy, 2021–2022):** Zastosowano kontrolowaną detonację ładunków (np. typ D II, 125 kg) z użyciem kurtyn bąbelkowych i odstraszczy akustycznych. Bliskość obszaru Natura 2000 „Fehmarnbelt” wymusiła rozszerzone środki re-

dukcji hałasu ze względu na wrażliwe gatunki (np. morświny). Szacowany koszt (EUR 2025) wynosi zwykle **100 000–300 000 € za obiekt** (zakres 50 000–500 000 €).

5.5.2 Relokacja i Wydobycie (*Recovery*) – „Sondaż, Inspect, Remove”

Metoda ta prowadzi do **mniejszych oddziaływań akustycznych** niż detonacja *in situ*. Obejmuje pełny łańcuch zarządzania ryzykiem UXO:

1. **Badania geofizyczne (sondaż).**
2. **Klasyfikacja** potencjalnych UXO (*pUXO*) i **inspekcje**.
3. **Selektywne wydobycie** lub neutralizacja we współpracy z **EOD** (*Explosive Ordnance Disposal*)
4. Formalne zarządzanie ryzykiem **ALARP** (*As Low As Reasonably Practicable*) i *risk sign-off*.

Studia Przypadku

1. **Baltic Pipe (Energinet):** Projekt wymagał przeprowadzenia poszukiwania niewybuchów (*UXO sondaż*), inspekcji *pUXO* oraz usuwania UXO realizowanego we współpracy z Danish Navy EOD. Wymagana była certyfikacja ALARP. Chociaż wartość zamówienia w dokumentach publicznych była pusta, koszt opóźnień (niezwiązanych z UXO) w projekcie wyniósł ok. **80 mln EUR**.
2. **Fehmarnbelt (Dania/Niemcy):** Większość znalezionych UXO została wydobyta i zabezpieczona („salvaged and rendered safe”), a tylko jeden ładunek głębinowy wymagał późniejszej detonacji *in situ*.

Koszty (EUR 2025): 30 000–250 000 € za obiekt.

5.5.3 Neutralizacja Przez Unikanie (*Avoidance/ALARP Bez Ingerencji*)

Metoda ta polega na minimalizowaniu ryzyka poprzez **unikanie fizycznej ingerencji** w obiekt, zgodnie z zasadą ALARP. Obejmuje *analizę dokumentacji (desk study)*, modelowanie ryzyka, pełny *geofizyczny sondaż*, inspekcje *pUXO* oraz **mikrotrasowanie/mikrolokalizację** (*re-route/micro-sitting*). Prace mogą być dopuszczone bez fizycznej neutralizacji, jeśli ryzyko zostało zredukowane do poziomu ALARP.

Koszty (EUR 2025): Wydatki te wlicza się w koszty kampanii *sondaż/inspekcji*. Badania i oceny: ok. **2 000–10 000 €/km linii profilowań**; pełne kampanie projektowe: **setki tysięcy do niskich milionów EUR**.

5.5.4 Dodatkowe Metody Neutralizacji UXO

1. Podwodne Niszczenie Mechaniczne/Cięcie:

Wykorzystuje zdalne narzędzia (np. *waterjet/abrasive*) do lokalnego usunięcia elementów. **Zaleta:** unika fali uderzeniowej. Koszty (EUR 2025): **150 000–600 000 € za obiekt**.

2. In Situ Capping/Enkapsulacja (UXO):

Zasyp lub obudowa obiektu warstwami ochronnymi (geowłókniny, maty betonowe) i monitoring. **Ograniczenie:** Nie usuwa źródła. Koszty (EUR 2025): **1–5 mln € za projekt**; utrzymanie **50 000–300 000 €/rok**.

Poniższa tabela konsoliduje przegląd metod, ryzyk, wymogów środowiskowych oraz szacunkowych kosztów (EUR 2025).

Tabela 26 Zestawienia Tabelaryczne Metod Neutralizacji UXO

Metoda	Zakres/Technika	Główne Zastosowania	Kluczowe Ryzyka/Ograniczenia	Rząd Wielkości Kosztów (EUR 2025)	Przykładowe Case'y (Oficjalne Źródła)
Unikanie (ALARP, mikrolokalizacja/zmiana trasy)	Analiza dokumentacji (desk study), pełny geofizyczny sondaż, inspekcja pUXO, <i>re-route/micro-siting</i> , formalny ALARP <i>sign-off</i>	Planowanie tras kabli/rurociągów, strefy kotwiczenia, inwestycje off-shore	Wymaga wysokiej jakości danych; możliwe zmiany projektu/harmonogramu; pozostaje ryzyko resztkowe	Badania/oceny: ~ 2 000–10 000 €/km profilu; pełne kampanie: setki tys.–niskie mln €	Fehmarnbelt (DK/DE) – mikrolokalizacja; Energinet (Baltic Pipe) – ALARP i <i>risk sign-off</i>
Detonacja/Deflagracja in situ (LOD/HOD)	LOD: ładunki kumulacyjne i deflagracja; HOD: pełna detonacja; często <i>bubble curtain</i>	Pojedyncze obiekty, gdy relokacja nie możliwa; szybka neutralizacja	Ryzyko przejścia LOD→HOD; oddziaływanie akustyczne; wymaga ewakuacji i zamknięć żeglugi	Zwykle 100 000–300 000 € za obiekt (zakres 50 000–500 000 €)	Tallboy (Świnoujście, PL) – LOD→HOD; Fehmarnbelt – detonacje z <i>bubble curtain</i>
Relokacja i Wydobycie (<i>lift & recover</i>)	Neutralizacja zapalników, podniesienie, przemieszczenie do strefy bezpiecznej i/lub utylizacja; współpraca z EOD	Tory wodne, projekty off-shore, kolizje z infrastrukturą	Ryzyko podczas podnoszenia/transportu; złożona logistyka	30 000–250 000 € za obiekt	Energinet (Baltic Pipe) – <i>sondaż/inspect/remove</i> z ALARP; Fehmarnbelt – „ <i>salvage where possible</i> ”
Podwodne Niszczenie Mechaniczne/Cięcie	Zdalne narzędzia (<i>waterjet/abrasive</i>), lokalne usunięcie elementów zapalnika/obudowy	Przypadki punktowe w portach/przy nabrzeżach	Wysoki poziom techniczny; czasochłonne; ryzyko kontaktowe	150 000–600 000 € za obiekt	Zastosowania niszowe (porty); brak szerokich publikacji kosztowych
In situ Capping/Enkapsulacja (UXO)	Zasyp/obudowa, geowłókniny, maty betonowe, monitoring	Obiekty problemowe, pilotaż	Nie usuwa źródła; wymaga stałego nadzoru i utrzymania	1–5 mln € ; utrzymanie 50 000–300 000 €/rok	Przypadki rzadkie dla UXO
Długoterminowy monitoring/administracja	Strefy wyłączeń, AtoN, aktualizacje ENC, przeglądy sonarowe	Utrzymanie bezpieczeństwa w akwenach z ryzykiem resztkowym	Ryzyko resztkowe utrzymywane; dyscyplina operacyjna wymagana	50 000–300 000 €/rok na akwen/instalację	Tereny z resztkowym ryzykiem po działaniach ALARP

6 Szacowanie kosztów

Podsumowanie metod szacowania kosztów. Odniesienie do Załącznika x: Szacowanie Kosztów.
Analiza danych historycznych.
Analiza w oparciu o zgromadzone dane o zagrożeniu.
Szczegółowe wyliczenia zawarte są w ZAŁĄCZNIK NR 5 – Szacownie kosztów oczyszczania wraków

6.1 Szacowanie kosztów całych operacji usuwania paliwa

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.

6.1.1 Analiza danych historycznych

Dane zrealizowanych operacji pokazują, że koszty usuwania paliwa z wraków wahają się od 15 mln do 200 mln USD (12,8 mln do 170,5 mln EURO 2025), przy czym jednostkowe koszty mogą sięgać od 15 000 do 116 000 USD za tonę paliwa lub od 13 500 do 105 000 USD za m³ (są to tylko wartości uśrednione) (13 tys. do 99 tys. EURO 2025). Rozpiętość ta wynika z bardzo zróżnicowanych warunków technicznych i środowiskowych.

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. W przypadku większych jednostek i trudnych warunków koszt jednostkowy może sięgać nawet ponad 100 tys. USD za tonę lub 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.

Przykłady w Tabeli 27 pokazują, że koszt usuwania paliwa może stanowić znaczną część całej akcji ratowniczej. Choć to nie jest regułą, bo dla Costa Concordii samo odcięcie i wypompowanie paliwa oszacowano na 200 mln USD (231,8 mln EURO 2025), natomiast całkowite koszty podniesienia i usunięcia wraku przekroczyły 1,3 mld USD (1,51 mld EURO 2025). Podobnie w przypadku Rena – 180 mln USD (219,5 mln EURO 2025) wydano na usunięcie paliwa, a całkowite koszty operacji były nawet dwu- lub trzykrotnie wyższe.

6.1.2 Czynniki kształtujące koszty

Na wysokość kosztów wpływa szereg czynników. Najważniejsze to wielkość statku i ilość paliwa, lokalizacja wraku oraz głębokość zalegania. Wraki spoczywające w płytkich wodach – jak Princess Kathleen w Alasce – pozwalają na stosunkowo szybkie działania z udziałem nurków i generują niższe koszty jednostkowe. W przypadku głębokowodnych jednostek, jak Prestige leżący na głębokości 4000 m, konieczne było użycie zdalnie sterowanych pojazdów ROV i specjalistycznych systemów, co podnosi koszty nawet dziesięciokrotnie.

Istotne znaczenie ma także rodzaj paliwa. Ciężki olej opałowy wymaga podgrzewania przed wypompowaniem, co zwiększa zapotrzebowanie na energię, natomiast lżejsze frakcje są łatwiejsze w usunięciu, lecz bardziej podatne na rozprzestrzenianie się w środowisku. Stan wraku również decyduje o wydatkach – uszkodzone lub niestabilne jednostki trzeba najpierw zabezpieczyć, stosując zawory awaryjne czy systemy stabilizacyjne.

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 w 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.

6.1.3 Koszty techniczne i operacyjne

Znaczną część wydatków stanowią prace podwodne. W płytkich wodach dzienny koszt pracy zespołu nurków wynosi od kilku do kilkunastu tysięcy dolarów, podczas gdy w średnich głębokościach rośnie do 20 tys. USD/dzień (17,5 tys. EURO 2025/dzień), a przy operacjach głębinowych może sięgać 80 tys. USD/dzień (68 tys. EURO 2025/dzień), a nawet znacznie więcej. W takich warunkach nurków często zastępują roboty ROV, których dzienny koszt wynajmu wynosi od 10 do 50 tys. USD (od 9 tys. do 43 tys. EURO 2025/dzień),

Równie kosztowne jest spawanie podwodne, które niejednokrotnie stanowi niezbędny etap przygotowania wraku do usunięcia paliwa. Spawanie „na mokro”, stosowane do mniej krytycznych zadań, kosztuje przeciętnie 150–400 USD za godzinę (128–341 EURO 2025/godzinę). W bardziej skomplikowanych przypadkach konieczne jest spawanie hiperbaryczne w komorach suchych, którego stawki wahają się od 400 do 800 USD za godzinę (od 341 do 682 EURO 2025/godzinę), i mogą podnieść koszty całej operacji nawet o kilkaset tysięcy dolarów.

Należy podkreślić, że usunięcie paliwa to tylko część kosztów całej akcji. Mobilizacja i demobilizacja sprzętu oraz personelu pochłania od kilkudziesięciu do kilkuset tysięcy dolarów. Wynajem statków wsparcia kosztuje zwykle 10–100 tys. USD dziennie (9 tys. – 85 tys. EURO 2025 dziennie), a utylizacja zebranego paliwa to kolejne 100–500 USD za tonę. Do tego dochodzą wydatki na monitoring środowiska, który w zależności od skali i wymagań może sięgać 50 tys. USD dziennie (43 tys. EURO 2025 dziennie), a także na obsługę prawną, uzyskanie pozwoleń i ubezpieczenia.

Koszty usuwania paliwa z wraków statków kształtują się w bardzo szerokich granicach – od kilkunastu do kilkuset milionów dolarów – i zależą od wielu zmiennych. Analiza przypadków pokazuje, że decydujące znaczenie mają wielkość jednostki, głębokość zalegania oraz zastosowane technologie. W sytuacjach awaryjnych, gdy wymagane jest szybkie działanie, koszty mogą wzrosnąć dwukrotnie lub trzykrotnie w stosunku do planowanych.

Globalne trendy wskazują na systematyczny wzrost kosztów takich operacji. Międzynarodowy Związek Ratowniczy odnotował wzrost swoich rocznych przychodów z 32 mln USD (46,7 mln EURO 2025) w 2004 roku do ponad 400 mln USD dekadę później (463,53 mln EURO 2025), co odzwierciedla rosnące wymagania technologiczne i regulacyjne. Z tego powodu precyzyjne plano-

wanie, gromadzenie danych o potencjalnych zagrożeniach i elastyczne modele szacowania kosztów stają się niezbędnym elementem przygotowania do działań neutralizacyjnych.

Tabela 27 Skonsolidowane dane dotyczące kluczowych operacji i programów, przedstawia zestawienie kosztów najważniejszych operacji usuwania paliwa z zatopionych jednostek.

Wrak / Lokalizacja	Główny cel interwencji	Zastosowane metody (Skróty)	Głębokość / Główny Akwen	Koszt historyczny (Waluta, Rok)	Przeliczenie do EUR 2025 (Wyższa wartość)	Operatorzy / Wykonawcy	Kluczowe Ryzyka Techniczne	Główne Źródła Instytucjonalne
Tabela 27 A Defueling – Studia przypadków (EUR 2025) – porównywalność wyłącznie w obrębie tabeli								
SS Jacob Luckenbach , USA (CA)	Usunięcie paliw (mystery oil source)	HT, ogrzewanie, wypompowanie	~50 m; Pacyfik (Kalifornia)	~19 mln USD (2003)	~30,76 mln EUR	USCG Unified Command; Zespoły salvage	Dostęp do przestrzeni; ciężkie frakcje	USCG; NOAA OR&R; California OSPR
USS Mississinewa (AO-59), Ulithi	Usunięcie paliw	HT, podgrzewanie, przepompowanie; odgazowanie	~36 m; Atol Ulithi (Pacyfik)	Kwota niepublikowana wprost	Brak kwoty	NAVSEA SUPSALV; zespoły nurkowe/ROV	Praca na odwróconym kadłubie; bezpieczeństwo nurków/ROV	NAVSEA/SUPSALV; NOAA RULET
MV Manolis L , Kanada (NL)	Ograniczenie wycieków i odzysk paliw	Lokalny cofferdam/box; Uszczelnienia (epoksydy/klamry); HT i pompowanie	~70 m; Atlantyk NW (zatoka)	~15 mln CAD (2018)	~12,24 mln EUR	Canadian Coast Guard; wykonawcy komercyjni	Niska temp. wody; pozycjonowanie cofferdamów	CCG; DFO
MV Princess Kathleen , USA (AK)	Usunięcie paliwa	Cap/cofferdamy lokalne + HT, ogrzewanie, pompowanie	~15–30 m; Wody przybrzeżne AK	~12,5 mln USD (2011)	~16,06 mln EUR	USCG Sector Juneau; kontrakty komercyjne	Silne prądy pływowe; kruchy kadłub	USCG; ADEC; NOAA OR&R
Tank Barge Argo , USA (Lake Erie)	Zabezpieczenie 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 bezpieczeństwa	USCG D9; NOAA SSC; US EPA/Ohio EPA
MV Rena , Nowa Zelandia	Częściowy demontaż + cleanup	Zdejmowanie kontenerów; Cięcie/wyciąganie sekcji; Odzysk paliw	~7–30 m (rafiowe/skaliste sekcje)	500–700 mln NZD (właściciel/2014)	~474,3 mln EUR (właściciel/ubez.)	Svitzer; Maritime NZ (koord. publiczna)	Prace na rafie; sztormy; wrażliwe siedliska	Maritime NZ; TAIC; BOPRC
Tabela 27 B. Wreck Removal (Cut & Lift/Prostowanie) – Studia przypadków (EUR 2025)								
Costa Concordia , IT	Prostowanie, podniesienie, demontaż	Prostowanie + Ponowne spławienie; Sponsons; 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
MV Baltic Ace , NL	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	Rijkswaterstaat; Kamerstukken

Wrak / Lokalizacja	Główny cel interwencji	Zastosowane metody (Skróty)	Głębokość / Główny Akwen	Koszt historyczny (Waluta, Rok)	Przeliczenie do EUR 2025 (Wyższa wartość)	Operatorzy / Wykonawcy	Kluczowe Ryzyka Techniczne	Główne Źródła Instytucjonalne
Tabela 27 C. Remediacje/Spill Response – Studia przypadków (EUR 2025)								
U-864 , Norwegia (Rtęć)	Zmniejszenie ryzyka (rtęć)	Capping (piasek/kruszywo/geotekstylia); 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
Hudson River 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; bezpieczeństwo społeczności	US EPA; GE project reports
Kalamazoo River , USA	Remediacja ropy w rzece	Usuwanie submerged oil; Capping stref; Reaktywacja	Rzeka; Odcinki z submerged oil	>1,2 mld USD (2010–2014)	~1,651 mld EUR	Enbridge (pod nadzorem US EPA R5); kontrakty remedacyjne	Emulsje i aglomeraty przydenne	US EPA R5; PHMSA; NTSB
Oslo Harbor sediments , 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

Źródło: opracowanie własne

UWAGA: Dane nieporównywalne między tabelami; różny profil ryzyka, zarządzania i logistyki

Uporządkowanie istniejących tabel wg spójnej struktury

Założenia normalizacyjne:

- Waluta: EUR 2025 (zgodnie z tabelą przeliczeń w dokumencie);
- Zakres kosztu: Tylko usuwanie paliw / Pełne usuwanie wraku / Capping / Remediacja osadów / Reakcja na wyciek;
- Jednostki: t i m³. Domyślna gęstość do przeliczeń: $\rho = 0,90 \text{ t/m}^3$ (HFO). Jeśli niewiadoma – stosuję 0,90 t/m³ i oznaczam jako „przeliczenie robocze”;
- Jakość danych: A (dane instytucjonalne / kontrakt), B (opracowania branżowe), C (media/sekundarne), D (brak wolumenu lub zakres mieszany).

Tabela 28 Operacje usuwanie paliw (defueling)

Case	Rok	Głęb.	Ilość paliwa	Koszt hist. + rok	EUR 2025 (jeśli wyliczalne)	Zakres	USD/t	USD/m ³ (ρ=0,90)	Jakość	Źródła
Rena (NZ)	2011	~30 m	1 550 t	180 M USD (2011)	~232 M EUR	Defueling (część całości)	116 129	104 560	B	Rena Recovery
Costa Concordia (IT)	2012	20–30 m	2 385 t	200 M USD (2012)	~244 M EUR	Defueling (część całości)	83 845	75 471	B	Cedre, Protezione Civile
Princess Kathleen (AK, USA)	2011	15–30 m	468 t	12,5 M USD (2011)	16,06 M EUR	Defueling	26 709	24 038	A	USCG, ADEC
SS Jacob Luckenbach (CA, USA)	2003	~50 m	n.d.	19 M USD (2003)	~30,8 M EUR	Defueling	n.d.	n.d.	A	USCG, NOAA
Manolis L (CA, Kanada)	2018	~70 m	>100 tys. l	15 M CAD (2018)	12,24 M EUR	Cofferdamy + defueling	n.d.	n.d.	A	CCG/DFO
Tank Barge Argo (USA)	2016	~15 m	chemikalia	5,8 M USD (2016)	7,08 M EUR	Uszczelnienia + odzysk	n.d.	n.d.	A	USCG D9, EPA
MSC Napoli (UK)	2007	przybrzeżnie	4 000 t	60 M USD	~?	Część szer. operacji	15 000	13 500	B	ITOPF

Uwaga: wartości USD/m³ przeliczone spójnie ρ=0,90 t/m³ – różnią się od podanych w dokumencie.

Tabela 29 Pełne usunięcie wraku (Cut & Lift)

Case	Rok	Głęb.	Koszt hist.	EUR 2025	Zakres	Jakość	Źródła
Baltic Ace (NL)	2014–15	~35 m	67 M EUR (2014)	83,75 M EUR	Pełny cut&lift (paliwa usunięte wcześniej)	A	Rijkswaterstaat

Nie należy z kosztu 83,75 M EUR wyprowadzać „USD/m³ paliwa” – to koszt usunięcia wraku, nie samego defuelingu.

Tabela 30 Capping (izolacja in-situ)

Case	Rok	Głęb.	Koszt hist.	EUR 2025	Zakres	Jakość	Źródła
U-864 (NO, rtec)	~2019	~150 m	1,5–2,0 mld NOK	~208,7 M EUR	Program cappingu, warianty	A	Kystverket, Storting

Tabela 31 Remediacja osadów / Reakcje na wyciek (nieporównywalne do defuelingu)

Case	Zakres	Koszt hist.	EUR 2025	Uwagi
Deepwater Horizon (US)	Reakcja na wyciek (różne składowe)	~14 mld USD	n.d.	Nie jest defueling; nie porównywać z wrakami
Hudson River PCB (US)	Remediacja PCB	1,7 mld USD	~1,996 mld EUR	Inna kategoria operacji
Oslo Harbor (NO)	Remediacja portowa	450 M NOK	~52,8 M EUR	Inny zakres

6.2 Koszty dodatkowe prowadzenia prac związanych z przygotowaniem i prowadzeniem prac oczyszczania wraków z paliwa

Usuwanie paliwa z wraków statków to skomplikowana i kosztowna operacja, która wiąże się z wieloma dodatkowymi kosztami poza samą ekstrakcją paliwa. Poniżej wymieniam wszystkie kluczowe dodatkowe koszty związane z tym procesem:

Tabela 32 Podstawowe kategorie dodatkowych kosztów usuwania paliwa z wraków

Nr	Kategoria kosztów	Główne elementy / przykłady
1	Przygotowanie i analizy	Badania hydrograficzne (MBES, sonar), inspekcje ROV; analiza ryzyka ekologicznego i technicznego; uzyskanie pozwoleń i zgód; opracowanie szczegółowego planu operacji.
2	Mobilizacja sprzętu i personelu	Wynajem statków wsparcia, sprzętu ratowniczego, pomp, separatorów; wynajem i obsługa WROV; zatrudnienie nurków, inżynierów podwodnych, ekspertów ds. HNS; technologie typu hot tapping, inertyzacja; systemy ogrzewania paliwa.
3	Logistyka	Transport sprzętu i zebranego paliwa; wynajem portu/bazy operacyjnej; utylizacja odpadów niebezpiecznych (Bałtyk/UE typowo 150–800 EUR/t, w kalkulacjach P90 600–800 EUR/t); ewentualny częściowy demontaż wraku; ubezpieczenia sprzętu, personelu i OC.
4	Środowisko	Monitoring wody, osadów i ekosystemu przed, w trakcie i po operacji; bariery i sorbenty, systemy usuwania rozlewów; działania rekultywacyjne; utrzymywanie gotowości na scenariusze awaryjne.
5	Technologia operacji	Stabilizacja wraku; tymczasowe konstrukcje zabezpieczające; naprawa/uszczelnianie zbiorników; systemy kontroli ciśnienia, aby ograniczyć ryzyko wycieku podczas wypompowywania.
6	Utylizacja paliwa	Transport paliwa do instalacji; koszty przetworzenia, spalania lub innej utylizacji zgodnej z przepisami; ewentualne oczyszczanie i recykling paliwa.
7	Administracja i prawo	Opłaty za pozwolenia i licencje; doradztwo i obsługa prawna; potencjalne kary i opłaty za naruszenia przepisów środowiskowych.
8	Rezerwy awaryjne	Naprawy sprzętu i zmiany planu operacji; dodatkowe działania w razie niekontrolowanego wycieku; koszty opóźnień (np. zła pogoda, przestoje).
9	Koszty długoterminowe	Monitoring wraku po zakończeniu akcji; długofalowe działania naprawcze w środowisku; ewentualne roszczenia cywilne społeczności lokalnych i organizacji.
10	Bezpieczeństwo	Szkolenia personelu do pracy w warunkach wysokiego ryzyka; środki ochrony osobistej; systemy awaryjne, łódzie ratunkowe, łączność awaryjna.

Uwaga ogólna:

Rzeczywiste koszty zależą głównie od złożoności operacji (głębokość, pogoda, stan wraku, liczba zbiorników, lepkość paliwa), a nie tylko od samej ilości paliwa.

Główne źródła metodyczne: IMO, EMSA, ITOPI, NOAA, UNEP oraz studia przypadków (Prestige, Deepwater Horizon, Baltic Ace).

6.3 Koszt prowadzenia prac nurkowych

Koszty prowadzenia prac nurkowych podczas usuwania paliwa z wraków statków są znaczące i zależą od wielu czynników, takich jak głębokość, lokalizacja, warunki środowiskowe, rodzaj paliwa oraz skala operacji. Poniżej przedstawiam szczegółowy przegląd kosztów związanych z pracami nurkowymi, oparty na dostępnych danych i literaturze.

Tabela 33 Główne czynniki wpływające na koszty.

Nr	Czynnik	Wpływ na koszty
1	Głębokość	Płycej (<30 m) taniej; głębiej (>100 m) drożej; wymagane nurkowanie saturacyjne/ROV.
2	Warunki środowiskowe	Zimna woda, silne prądy, słaba widoczność i fala wydłużają operację i podnoszą koszty.
3	Rodzaj paliwa	Ciężki olej wymaga podgrzewania, co wydłuża czas i podnosi koszty.
4	Czas trwania operacji	Dłuższy projekt = wyższe koszty pracy, logistyki i wynajmu sprzętu.
5	Wymogi bezpieczeństwa	Specjalne PPE, systemy awaryjne, szkolenia zwiększają koszty.

Tabela 34 Szacunkowe koszty prac nurkowych wg głębokości.

Głębokość	Koszt nurka [USD/godz]	Koszt dzienny [USD/dzień]	Typowe uwagi / przykłady
Płytkie <30 m	500–1 500 (426 -1300 EURO 2025)	4 000–12 000 (3 000-10000 EURO 2025)	Tańsze, ale wymagają specjalistycznego sprzętu i zabezpieczeń. Przykłady: Baltyk (Baltic Ace) ~10 000 USD/d (12 000/d EURO 2025); płytkie obszary Zatoki Meksykańskiej ~8 000–12 000 USD/d. (7 000 – 10 000/d EURO 2025)
30–100 m	1 500–3 000 (1000 – 2500 EURO 2025)	12 000–24 000 (10 000 – 20 000 EURO 2025)	Bardziej zaawansowane techniki (w tym saturacja). Przykłady: Morze Północne ~15 000–20 000 USD/d (13 000- 17 000/d EURO 2025); Morze Śródziemne ~12 000–18 000 USD/d (10 000- 15 000/d EURO 2025)
>100 m	3 000–10 000 (2 500- 9 000 EURO 2025)	24 000–80 000 (20 000- 68 000 EURO 2025)	Często zamiast nurków stosuje się ROV. Przykłady: Deepwater Horizon ~50 000 USD/d (63 000/d EURO 2025) gł. ROV); głębokie wraki Atlantyku ~30 000–60 000 USD/d (26 000- 51 000/d EURO 2025)

Tabela 35 Nota metodyczna – dzienna stawka spreadów (orientacyjnie):

Element spreadu	Typowa stawka dzienna [USD/dzień]	Typowa stawka dzienna (EURO 2025)
DSV/DP z systemem saturacyjnym + ekipa offshore	80 000–200 000	68 000-170 000
Multicat / barka wsparcia	10 000–50 000	9 000- 43 000
Sheerlegs / heavy lift	50 000–150 000	43 000-128 000

Tabela 36 Dodatkowe koszty związane z pracami nurkowymi

Kate- goria	Element / opis	Zakres kosztów (orientacyjnie)	
Sprzęt nur- kowy	Kombinezony, butle, sys- temy gazowe, łączność.	10 000–50 000 USD (komplet)	9 000-43 000 EURO 2025 (komplet)
	Systemy dekompresyjne.	50 000–200 000 USD	43 000-170 000 EURO 2025
	Kompresory, systemy mie- szania/generatory gazów.	20 000–100 000 USD	17 000-85 000 EURO 2025
Statki wspar- cia	Statek nurkowy.	10 000–50 000 USD/dzień	9 000-43 000 EURO 2025/dzień
	Platformy do nurkowania sa- turacyjnego.	20 000–100 000 USD/dzień	18 000-86 000 EURO 2025/dzień
Bezpie- czeń- stwo	Systemy awaryjne, zespół stand-by, sprzęt ratowniczy.	10 000–50 000 USD (pakiet)	9 000-43 000 EURO 205 (pa- kiet)
	Szkolenia i certyfikacje.	5 000–20 000 USD/osobę	4 000-17 000 EURO 2025/osobę
Moni- toring środo- wiska	Kontrola jakości wody i po- wietrza.	5 000–20 000 USD/dzień	4 000-17 000 EURO 2025dzień
Ubez- piecze- nie	Polisy na sprzęt i personel.	10 000–50 000 USD/miesiąc	9 000-43 000 EURO 2025/miesiąc

Tabela 37 Regionalne różnice w kosztach

Region	Typowy zakres kosz- tów [USD/dzień]	Typowy zakres kosztów (EURO 2025/dzień)	Uwagi
Europa	15 000–25 000	13 000- 21 000	Wysokie koszty pracy, su- rowe przepisy BHP.
Ameryka Pół- nocna	10 000–50 000	9 000- 43 000	Koszty umiarkowane; rosną w środowiskach wysokiego ryzyka.
Azja i Bliski Wschód	8 000–20 000	7 000- 17 000	Niższe koszty pracy, ale większe wyzwania logi- styczne.
Afryka, Ameryka Południowa	10 000–30 000	9 000-26 000	Ograniczona infrastruktura może podnosić koszty.

Tabela 38 Wybrane studia przypadków (z nurkami / ROV)

Przypadek	Lokalizacja	Głęb- kość	Szac. koszty nurkowań [USD/dzień]	Uwagi
Baltic Ace (2012)	Morze Bał- tyckie	~30 m	~10 000 (12 000 EURO 2025)	Płytkie wody, trudne warunki (zimno, słaba widoczność).
MV Rena (2011)	Nowa Zelan- dia	~30 m	~15 000 (18 000 EURO 2025)	Duża skala operacji i szybka re- akcja zwiększyły koszty.
Deepwater Ho- rizon (2010)	Zatoka Mek- sykańska	~1 500 m	~50 000 (gł. ROV) (63 000 EURO 2025)	Ekstremalna głębokość, wyso- kie ryzyko, dominacja ROV.

Koszty te często istotnie rosną po doliczeniu sprzętu, statków wsparcia, bezpieczeństwa, monitoringu środowiska i ubezpieczeń; przy dużych głębokościach ROV bywa bardziej opłacalny niż nurkowie.

6.4 Koszt prowadzenia prac spawalniczych pod wodą

Stawki spawania podwodnego związanego z **usuwaniem paliwa z wraków** mogą się znacznie różnić w zależności od złożoności operacji, głębokości wraku, rodzaju wymaganego spawania i konkretnych wyzwań związanych z procesem usuwania paliwa. Spawanie podwodne w takich scenariuszach jest często częścią większej operacji ratowniczej, która obejmuje cięcie, łatanie lub uszczelnianie wraku w celu bezpiecznego wydobycia paliwa. Poniżej znajduje się szczegółowe zestawienie czynników i typowych stawek:

Tabela 39 Czynniki wpływające na stawki spawania podwodnego.

Nr	Czynnik	Opis / wpływ na koszt
1	Rodzaj spawania	Na mokro – tańsze, do zadań mniej krytycznych, małe głębokości. Na sucho (hiperbaryczne) – droższe, do zadań krytycznych (zbiorniki paliwa, naprawy strukturalne), wymaga komory suchej i specjalistycznego sprzętu.
2	Głębokość wraku	Płytka woda (do 30 m) – niższe koszty. Duże głębokości (>30 m) – konieczność mieszanek gazowych, długiej dekompresji i bardziej złożonych systemów, co znacznie podnosi koszty.
3	Złożoność operacji	Cięcie elementów wraku, uzyskanie dostępu do zbiorników, uszczelnianie i łatanie, wzmocnienia strukturalne – im bardziej skomplikowany zakres, tym wyższe koszty.
4	Zagrożenia i ryzyko	Obecność paliwa/HNS, ryzyko zapłonu/wybuchu, słaba widoczność, silne prądy, niestabilny wrak – wymagają dodatkowych zabezpieczeń i procedur bezpieczeństwa.
5	Lokalizacja i logistyka	Odległe, offshore i trudnodostępne miejsca podnoszą koszty mobilizacji/demobilizacji; projekty blisko brzegu są tańsze.
6	Doświadczenie i certyfikacja spawaczy	Komerccyjni nurkowie-spawacze z certyfikatami (np. AWS) i doświadczeniem w środowiskach z paliwem/HNS mają wyższe stawki, ale obniżają ryzyko operacyjne.

Tabela 40 Typowe stawki spawania podwodnego i koszty dodatkowe.

Rodzaj spawania	Stawka godzinowa [USD/godz.]	Stawka dzienna [USD/dzień]	Uwagi
Spawanie na mokro	150–400 (128 – 341 EURO 2025)	1 500–4 000 (1 300–3 000 EURO 2025)	Do zadań mniej krytycznych, płycej.
Spawanie na sucho (hiperbaryczne)	400–800 (341–682 EURO 2025)	4 000–8 000 (3 000 – 6 000 EURO 2025)	Zadania krytyczne, komora sucha, wysoki koszt sprzętu i obsługi.

Tabela 41 Dodatkowe koszty operacji ze spawaniem podwodnym.

Kategoria	Opis	Typowy zakres kosztów (orientacyjnie)
Mobilizacja i demobilizacja	Transport sprzętu, personelu, statków pomocniczych.	10 000–50 000 USD + (w górę, zależnie od odległości) (9 000–43 000 EURO 2025)
Specjalistyczny sprzęt	Komory hiperbaryczne, ROV, narzędzia do cięcia/spawania.	5 000–20 000 USD/dzień (wynajem) (4 000–17 000 EURO 2025)
Bezpieczeństwo i personel	Zespoły wsparcia, oficerowie BHP, personel medyczny.	1 000–3 000 USD/dzień / osobę lub rolę (852–3 000 EURO 2025)
Monitoring i zgodność	Monitorowanie wycieków, badania środowiskowe, raportowanie.	5 000–20 000 USD (zależnie od wymogów) (4 000 – 17 000 EURO 2025)
Zakwaterowanie i wyżywienie	Projekty offshore/zdalne – koszty załogi.	100–300 USD/osoba/dzień (85– 256 EURO 2025)
Zezwolenia i regulacje	Opłaty za uzyskanie zezwoleń, zgodność z prawem lokalnym.	Zależne od jurysdykcji (często kilka–kilkanaście tys. USD)

Tabela 42 Przykładowe scenariusze kosztowe

Scenariusz	Zakres operacji	Głębokość	Czas trwania	Szacunkowy koszt całkowity
Mała skala, płytka woda, spawanie na mokro	Zatapanie małego otworu w zbiorniku paliwa, zapobieganie wyciekom.	<30 m	2–3 dni	10 000–30 000 USD (9 000–27 000 EURO 2025)
Duża skala, głęboka woda, spawanie na sucho	Cięcie wraku, dostęp i uszczelnienie zbiorników paliwa, następnie wydobywanie paliwa.	>30 m	2–4 tygodnie	100 000–500 000+ USD (85 000–426 000 EURO 2025)

6.5 Inne koszty związane z oczyszczaniem wraków nie związane z nurkowaniem i spawaniem

Podczas usuwania paliwa z wraków statków nurkowanie jest tylko jednym z elementów całej operacji. Istnieje wiele **kosztów niezwiązanych z nurkowaniem** związanych z tymi projektami, w tym logistyka, sprzęt, monitorowanie środowiska i wydatki administracyjne. Poniżej znajduje się szczegółowe zestawienie **globalnych cen prac niezwiązanych z nurkowaniem** podczas operacji usuwania paliwa, oparte na raportach branżowych, studiach przypadków i szacunkach ekspertów.

Tabela 43 Zestawienie kosztów globalnych innych niż nurkowanie

Kategoria prac	Zakres prac	
Mobilizacja i demobilizacja	50 000–500 000 USD	43 000–426 000 EURO 2025
Statek wsparcia	10 000–100 000 USD/dzień	9 000–85 000 EURO 2025/dzień
Operacje ROV	10 000–50 000 USD/dzień	9 000–43 000 EURO 2025/dzień
Paliwo i energia	5 000–20 000 USD/dzień	4 500–17 000 EURO 2025/dzień
Monitorowanie środowiska	5 000–50 000 USD/dzień	4 500–43 000 EURO 2025/dzień

Kategoria prac	Zakres prac	
Zarządzanie odpadami	100–500 USD/tona	85–426 EURO 2025/tona
Zarządzanie i uregulowania prawne	10 000–100 000 USD+	9 000–85 000 EURO 2025
Bezpieczeństwo środki zabezpieczające	10 000–50 000 USD	9 000–43 000 EURO 2025
Personel (inny niż nurkowie)	500–2 000 USD/dzień per person	EURO 2025/dzień per person
Monitoring długoterminowy	10 000 100,000 USD+	9 000–85 000 EURO 2025

6.6 Biblioteka stawek” (EUR, Bałtyk) z korektami lokalnymi

Do kalkulacji prawdopodobnych kosztów prowadzenia prac na wrakach. Poniższe widełki P10/P50/P90 służą do startowej kalibracji i są korygowane lokalnie (port, odległość, sezon) oraz scenariuszowo (okna środowiskowe, UXO). W P90 stosujemy urealnione rezerwy harmonogramowe i stand-by aktywów. Dla modelowania Monte Carlo przyjmujemy rozkład trójkątny (P10–P50–P90).

Pola korekt lokalnych:

- Port bazowy; 0,95–1,10 – zdolności portu/koncentracja podaży
- Odległość; 1,00–1,30 – tranzyty, holowania
- Sezon; 1,00–1,20 – zima/lód/fale

Przykładowe pozycje kosztowe:

Tabela 44 Wybrane ceny dzienne jednostek, urządzeń używanych w procesie usuwania paliwa z wraków.

Kategoria	Jednostka	P10	P50	P90	Uwaga
DSV (jedn. nurkowa DP)	€/dzień	25 000	40 000	60 000	defueling; przy złożonych pracach: 40–100k
Work-class ROV (z obsługą)	€/dzień	12 000	20 000	35 000	głębsze/cięższe: do 50k
Multicat/Tug	€/dzień	6 000	9 000	12 000	zwykle 1–2 szt.
Barka magazynowa/zbiornikowa	€/dzień	15 000	30 000	45 000	odbiór/tymczasowe magazynowanie
Zestaw hot-tapping	€/dzień	4 000	8 000	12 000	plus materiał eksploatacyjny
Pompy + grzanie HFO	€/dzień	2 000	4 000	6 000	energia paliwowa osobno
Zespół nurków (ekipa)	€/dzień	6 000	12 000	20 000	bez statku
Zespół spaw. podwodnych	€/dzień	8 000	15 000	25 000	gdy potrzebne
Statek ciężki/dźwig (cut&lift)	€/dzień	120 000	160 000	200 000	przy cięższych 180–260k
System wire cutting	€/dzień	10 000	20 000	30 000	cut&lift

Kategoria	Jednostka	P10	P50	P90	Uwaga
Statek układający (capping)	€/dzień	35 000	50 000	70 000	DP, fall-pipe itp.
Monitoring środowiskowy	€/dzień	2 000	4 000	8 000	w trakcie robót
Utylizacja paliwa (HNS)	€/t	100	200	400	wg klasy i odbiorcy
Opłaty stoczni/yard (cut&lift)	€ (ryczałt)	3 000 000	5 000 000	8 000 000	demontaż, składowanie
Projekt + pozwolenia	€ (ryczałt)	300 000	600 000	1 200 000	defueling; inne wg scen.
Capping – materiał (z dostawą)	€/m ³	12	18	25	piasek/kruszywo

Dla wyjaśnienia – percentyle używane do opisu niepewności (np. kosztów, czasu, ilości, rezerw). Mówią, jak prawdopodobne jest, że wynik będzie mniejszy lub równy danej wartości.

- P10 (10. percentyl): wartość optymistyczna. Istnieje 10% szans, że wynik będzie $\leq$ tej wartości (i 90% szans, że będzie większy).
- P50 (50. percentyl, mediana): wartość centralna. Prawdopodobieństwo 50/50, że wynik będzie poniżej lub powyżej tej wartości.
- P90 (90. percentyl): wartość pesymistyczna/konserwatywna. Istnieje 90% szans, że wynik będzie $\leq$ tej wartości (i 10% szans, że będzie większy).

6.7 Walidacja komercyjna kosztów i analiza łańcucha dostaw

Szacunki kosztów przedstawione w niniejszym rozdziale opierają się na danych z literatury, case studies międzynarodowych oraz bibliotece stawek zebranej z dostępnych źródeł. Jednakże, ze względu na:

- zmienność cen w czasie (inflacja, fluktuacje rynkowe),
- różnice regionalne (koszty w Bałtyku mogą różnić się od kosztów w Morzu Północnym, Azji, USA),
- ograniczoną dostępność wykonawców i instalacji specjalistycznych,
- ryzyko zakłóceń łańcucha dostaw.

konieczne jest przeprowadzenie komercyjnej walidacji kosztów przed ostatecznym wyborem wariantu remediacji i uruchomieniem procedur przetargowych.

6.7.1 Procedura komercyjnej walidacji kosztów (RFI/RFQ)

Cel:

Weryfikacja realności szacunków kosztowych poprzez kontakt z rzeczywistymi dostawcami usług, sprzętu i instalacji utylizacyjnych.

Etap 1: Request for Information (RFI) – Zbieranie informacji rynkowych

Zakres RFI:

- Identyfikacja firm/konsorcjów zdolnych do realizacji poszczególnych elementów projektu;
- Usuwanie paliwa z wraku (hot-tapping, ROV, systemy podwodne)
- Badania i monitoring środowiskowy (jednostki badawcze, laboratoria);
- Remediacja osadów (dredging, capping, systemy in-situ);
- Utylizacja osadów skażonych (instalacje termiczne, składowiska, cementing);
- Neutralizacja UXO (firmy EOD);
- Sprzęt i jednostki pływające (barki, statki, ROV, AUV).

Pytania do rynku:

1. Czy firma ma doświadczenie w tego typu projektach? (referencje);
2. Czy posiada niezbędny sprzęt/certyfikaty?
3. Jaka jest dostępność w planowanym okresie realizacji (np. 2026-2027)?
4. Jakie są orientacyjne stawki dzienne/kosztorysy (ballpark figures)?
5. Jakie są warunki graniczne (wymagania, ograniczenia)?

Adresaci RFI:

- Firmy międzynarodowe z doświadczeniem (np. Resolve Marine, T&T Salvage, Smit Salvage, Boskalis);
- Firmy regionalne/polskie (np. Polskie Ratownictwo Okrętowe);
- Laboratoria i instytuty badawcze (np. Instytut Oceanologii PAN, Instytut Morski);
- Instalacje utylizacyjne w Polsce i regionie (np. NOEN, Ekotomia, instalacje w DE, SE, DK);
- Firmy EOD (np. BACTEC, ARJE, Fenix Insight).

Termin przeprowadzenia: 3-6 miesięcy przed planowanym rozpoczęciem procedur przetargowych (np. Q1-Q2 2026, jeśli przetargi w Q3 2026).

Wynik: Raport RFI zawierający:

- listę potencjalnych wykonawców (qualified vendors);
- zweryfikowane stawki/koszty (z przedziałami);
- identyfikację luk/ograniczeń (np. brak lokalnych firm zdolnych do hot-tappingu → konieczność międzynarodowych).

Etap 2: Request for Quotation (RFQ) – Wstępne oferty cenowe (opcjonalnie)

Jeśli RFI wskaże istotne rozbieżności między szacunkami a rynkiem, rozważyć RFQ dla kluczowych elementów:

- Prosić wybrane firmy o wstępne oferty cenowe (non-binding) dla scenariuszy:
 - Wariant A: Capping (przykrycie obszaru $X \text{ m}^2$ aktywnym materiałem).
 - Wariant B: Capping + defueling (usunięcie $Y \text{ m}^3$ paliwa + capping).
 - Wariant C: Dredging + ex-situ (usunięcie $Z \text{ m}^3$ osadów + transport + utylizacja).

Uwaga: RFQ jest niewiążące, służy wyłącznie do doprecyzowania szacunków. Formalne oferty będą dopiero w przetargu.

Korzyści RFQ:

- Bardziej precyzyjne koszty przed decyzją;
- Identyfikacja “deal-breakers” (np. “nie jesteśmy w stanie tego zrobić za mniej niż X EUR”).

Wady RFQ:

- Czasochłonne (firmy mogą niechętnie przygotowywać oferty bez gwarancji kontraktu);
- Ryzyko “fishing” (firmy mogą podać zawyżone ceny, wiedząc że to tylko RFQ).

Decyzja: Rozważyć RFQ ty

6.7.2 Analiza dostępności instalacji utylizacyjnych

Ryzyko: Osady skażone WWA, metali ciężkich (a być może także PCB, TBT) wymagają **specjalistycznej utylizacji**. Nie można ich:

- składować na zwykłych składowiskach;

- zrzucić z powrotem do morza (Konwencja Londyńska, MARPOL);
- wykorzystać do innych celów bez oczyszczenia.

Dostępne opcje utylizacji osadów skażonych w regionie:**Opcja 1:****Utylizacja termiczna (spalanie/piroliza)****Instalacje w Polsce:**

- NOEN (Nowiny koło Kielc) – spalarnia odpadów niebezpiecznych, zdolność ~50 000 Mg/rok;
- Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych (np. Gdańsk, ale przede wszystkim odpady komunalne – ograniczona zdolność dla przemysłowych/niebezpiecznych).

Instalacje w regionie Baltyku:

- Niemcy: liczne spalarnie (np. AVG Hamburg, GMVA, SAVA);
- Szwecja: Sakab (specjalistyczna utylizacja odpadów niebezpiecznych);
- Dania: instalacje KARA/ARGO, Kommunekemi (specjalistyczna dla odpadów niebezpiecznych).

Koszty orientacyjne: 150-500 EUR/Mg (zależnie od charakterystyki osadów, zawartości wody, stężenia zanieczyszczeń).

Warunki graniczne:

1. Wymagana charakterystyka odpadów (analiza składu, klasyfikacja wg kodów odpadów) Certyfikacja transportu (ADR dla transportu drogowego, IMDG dla morskiego);
2. Dostępność zdolności (instalacje mogą być obciążone, lista oczekujących);
3. Akceptacja przez instalację (mogą odmówić, jeśli osady mają “problematiczne” składniki).

Opcja 2:**Stabilizacja/Solidyfikacja (cementing) + składowanie:**

- Osady są mieszane z cementem/innymi spoiwami → zatwierdzone → składowane jako odpady stałe.

Instalacje: Zakłady cementowni (np. Lafarge, Cemex – mogą przyjmować odpady do współspalania w piecach), składowiska odpadów niebezpiecznych.

Koszty orientacyjne: 80-200 EUR/Mg (cementing) + 50-150 EUR/Mg (składowanie).

Warunki graniczne:

Test wymywalności (osady po cementacji muszą spełniać kryteria dla składowisk):

- Dostępność składowisk kategorii niebezpiecznych (w Polsce ograniczona zdolność).

Opcja 3:**Oczyszczanie ex-situ (soil washing, bioremediacja) + ponowne wykorzystanie/ składowanie:**

- Osady są oczyszczane (usuwanie WWA/metali) → oczyszczone osady mogą być wykorzystane (np. nasypy) lub składowane jako odpady nie niebezpieczne.

Instalacje: Nieliczne w regionie (technologia mniej popularna dla osadów morskich niż dla gruntów lądowych).

Koszty orientacyjne: 200-600 EUR/Mg (bardzo zmienny, zależny od technologii i stopnia oczyszczenia).

Warunki graniczne:

Skuteczność oczyszczania niepewna (zależy od charakterystyki osadów, formy zanieczyszczeń)
Wymagane testy pilotażowe .

Opcja 4:**Capping in-situ (bez usuwania osadów):**

- Osady pozostają na dnie, są przykrywane warstwą izolacyjną;
- **“Utylizacja” nie jest wymagana** – osady pozostają w miejscu.

Koszty: Brak kosztów utylizacji (ale są koszty materiału cappingu, układania, monitoringu).

Warunki graniczne:

Akceptacja przez RDOŚ/WIOŚ (czy izolacja in-situ jest dopuszczalna w obszarze Natura 2000?)
Stabilność długoterminowa (monitoring, ryzyko erozji).

Analiza dostępności – kluczowe pytania do weryfikacji:**Ile osadów należy zutylizować?**

- Wariant dredging: szacunkowo $X \text{ m}^3$ osadów = $Y \text{ Mg}$ (po odwodnieniu);
- Wariant hybrydowy: tylko hot-spoty = $Z \text{ Mg}$.

Jaka jest zdolność przyjęcia instalacji w Polsce?

- NOEN: max ~50 000 Mg/rok, ale obciążenie istniejącymi kontraktami = dostępność?
- Zapytanie RFI: “Czy jesteście w stanie przyjąć $Y \text{ Mg}$ osadów skażonych WWA/metali w okresie 2026-2027?”

Jaka jest zdolność w regionie (DE, SE, DK)?

Instalacje zagraniczne mają większą zdolność, ale:

- wyższe koszty transportu (transport morski/drogowy międzynarodowy) wymagania prawne (transgraniczne przemieszczanie odpadów – Konwencja Bazylejska,

Rozporządzenie WE 1013/2006) czas załatwienia pozwoleń (3-6 miesięcy).

Scenariusz pesymistyczny: brak dostępności instalacji:

- Co robimy, jeśli żadna instalacja nie może przyjąć osadów w wymaganym czasie?

Opcje:

- Opóźnienie projektu (czekać na dostępność);
- Magazynowanie tymczasowe (w kontenerach, na lądzie – wymaga pozwolenia, dodatkowy koszt);
- Zmiana wariantu (rezygnacja z dredgingu, przejście na capping).

6.7.3 Ryzyka łańcucha dostaw (supply chain risks)

Definicja: Ryzyko, że kluczowe elementy projektu (sprzęt, usługi, materiały) nie będą dostępne w wymaganym czasie/cenie/jakości.

Główne ryzyka łańcucha dostaw dla PNZ Stuttgart:**R1: Niedostępność specjalistycznego sprzętu/jednostek:**

- **Opis:** Sprzęt typu ROV klasy work-class, systemy hot-tapping, barki specjalistyczne są nieliczne i mogą być zajęte innymi projektami (np. offshore wind, oil&gas);
- **Prawdopodobieństwo:** ŚREDNIE (30-50%);
- **Skutek:** Opóźnienie projektu, wzrost kosztów (wynajem z daleka, demurrage);

- **Mitygacja:**

- Wczesna rezerwacja (kontakt z firmami rental już w fazie planowania);
- Elastyczność w harmonogramie (okna czasowe 2-3 miesięczne zamiast sztywnych terminów);
- Plan B (alternatywne metody, np. nurkowie zamiast ROV dla prostszych zadań).

R2: Niedostępność instalacji utylizacyjnych:

- **Opis:** Patrz 6.7.2
- **Prawdopodobieństwo:** ŚREDNIE (20-40%, zależnie od wariantu);
- **Skutek:** Niemożność realizacji wariantu dredging/ex-situ, konieczność zmiany wariantu;
- **Mitygacja:**
 - Weryfikacja dostępności w RFI (przed wyborem wariantu!);
 - Umowy rezerwacyjne z instalacjami (pre-booking);
 - Wariant capping jako backup (nie wymaga utylizacji).

R3: Wzrost cen sprzętu/usług:

- **Opis:** Ceny mogą wzrosnąć między planowaniem a realizacją (inflacja, wzrost popytu np. z sektora offshore wind);
- **Prawdopodobieństwo:** WYSOKIE (60-80%, historycznie ceny rosną średnio 3-5%/rok, ale mogą skokowo);
- **Skutek:** Przekroczenie budżetu;
- **Mitygacja:**
 - Bufor cenowy w budżecie (np. +20-30% contingency);
 - Kontrakty z klauzulą cenową (price escalation clauses) lub fixed-price (jeśli wykonawca zaakceptuje);
 - Przyspieszenie realizacji (im szybciej, tym mniejsze ryzyko wzrostu cen).

R4: Zakłócenia logistyczne (transport, granice, pogoda):

- **Opis:** Opóźnienia w transporcie materiałów (np. aktywne minerały do cappingu, sprzęt) lub osadów (do utylizacji);
- **Prawdopodobieństwo:** NISKIE do ŚREDNIE (10-30%, ale może wzrosnąć w sytuacjach kryzysowych);
- **Skutek:** Opóźnienie prac, koszty demurrage (postojów jednostek);
- **Mitygacja:**
 - Bufory czasowe w harmonogramie;
 - Magazyny buforowe (np. materiały do cappingu przywiezione wcześniej, składowane w porcie);
 - Ubezpieczenia logistyczne.

R5: Brak wykwalifikowanych kadr (nurkowie, spawacze podwodni, operatorzy ROV):

- **Opis:** Rynek specjalistów podwodnych jest napięty (wysokie zapotrzebowanie z offshore wind, oil&gas);
- **Prawdopodobieństwo:** ŚREDNIE (30-50%);
- **Skutek:** Opóźnienie, wzrost kosztów (dayrates dla kadr mogą wzrosnąć);
- **Mitygacja:**
 - Wczesna rekrutacja/rezerwacja zespołów (przez wykonawcę);
 - Współpraca z firmami dysponującymi własnymi zespołami (nie freelancerzy);
 - Szkolenia lokalne (jeśli czas pozwala – np. szkolenie nurków/operatorów ROV w Polsce).

6.7.4 Rekomendacje proceduralne

Przeprowadzić RFI (Request for Information) nie później niż 6 miesięcy przed planowanym przetargiem – wystać zapytania do:

- min. 10 firm specjalizujących się w salvage/remediacji morskiej (międzynarodowe + polskie),
- min. 5 instalacji utylizacyjnych (Polska + region),
- laboratoria i instytuty badawcze (krajowe).

Na podstawie wyników RFI: zaktualizować szacunki kosztów w rozdziale 6 – jeśli rozbieżności > 20%, przeanalizować przyczyny i dostosować założenia.

Przed ostatecznym wyborem wariantu remediacji: potwierdzić dostępność kluczowych elementów łańcucha dostaw:

- Jeśli wariant wymaga utylizacji osadów → potwierdzenie dostępności instalacji;
- Jeśli wariant wymaga specjalistycznego sprzętu → potwierdzenie dostępności.

Włączyć do umowy z wykonawcą klauzule dotyczące ryzyk łańcucha dostaw:

- Obowiązek wykonawcy: wcześniejsza rezerwacja sprzętu/instalacji;
- Procedury na wypadek niedostępności (plan B, zgoda na zmianę metody);
- Podział ryzyka cenowego (kto ponosi ryzyko wzrostu cen materiałów/usług?).

Monitorować rynek na bieżąco – w okresie między planowaniem a przetargiem mogą nastąpić zmiany (nowe technologie, nowi gracze, zmiany cen) – elastyczność w dostosowaniu planu.

6.8 Całkowity szacunek kosztów projektu Stuttgart – podsumowanie

Tabela 45 Całkowity szacunek kosztów projektu Stuttgart – podsumowanie (ceny w PLN 2025 oraz w EUR wg kursu 31.12.2025: 1 EUR = 4,2267 PLN)

Kategoria	Koszt minimalny [mln PLN]	Koszt minimalny [mln EUR]	Koszt maksymalny [mln PLN]	Koszt maksymalny [mln EUR]	Koszt najbardziej prawdopodobny [mln PLN]	Koszt najbardziej prawdopodobny [mln EUR]
Hot-tapping i usuwanie paliwa	25	5,9	70	16,6	40	9,5
Remediacja osadów (dredging/capping)	40	9,5	120	28,4	80	18,9
Neutralizacja UXO	10	2,4	40	9,5	25	5,9
Monitoring (5 lat)	5	1,2	15	3,6	10	2,4
RAZEM	80	18,9	245	57,9	155	36,7

7 KOMPLEKSOWA ANALIZA RYZYKA I ZARZĄDZANIE RYZYKIEM

Poniżej przedstawiono kompleksową analizę ryzyka i zarządzania ryzykiem dla wraku S/S “Stuttgart” w Zatoce Gdańskiej oraz dla powiązanego z nim obszaru ok. 41,5 ha skażonych osadów dennych. Opracowanie ma charakter studium oddziaływania na środowisko z elementami analizy ryzyka inżynierskiego i środowiskowego, które stanowi podstawę proponowanego Planu Neutralizacji Zanieczyszczeń. W tym celu użyto wszystkich dostępnych informacji z badań przeprowadzonych w latach 1999 – 2025. Większość zaleceń i decyzji oparto o wyniki najbardziej kompleksowych badań z lat 2016 i 2025 dostarczających najbardziej wiarygodnych i aktualnych wyników. Uwzględniono również najnowszą, dostępną wiedzę dotyczącą zabezpieczania wraków, usuwania skażeń, remediacji gruntu. W tym celu w części pierwszej opracowania przeprowadzono dogłębną analizę literatury oraz przeprowadzonych działań związanych z tematem.

Zaproponowana ocena ryzyka i propozycje zarządzania ryzykiem określono w kolejności:

1. Przegląd metod i wybór podejścia

Przeanalizowano 9 modeli szacowania ryzyka związanego z wrakami (m.in. E-DBA, VRAKA, RULET/PPW, podejścia QRA/FMEA, narzędzia modelowania dryfu i losu zanieczyszczeń jak Seatrack Web, GNOME/ADIOS, OSCAR/OILMAP/OpenDrift). Wskazano, że najlepiej dopasowane do warunków Bałtyku są E-DBA oraz VRAKA. Dla potrzeb analizy wraku Stuttgart zastosowano zmodyfikowaną metodę E-DBA.

2. Kontekst lokalizacyjny i prawny

Opisano warunki środowiskowe rejonu (głębokość ok. 20 –25 m, miękkie osady, typowe dla Bałtyku zasolenie i temperatury, prądy i falowanie, sezonowość mieszania wód). Podkreślono, że teren znajduje się w obszarach o wysokiej randze ochrony przyrodniczej (m.in. Natura 2000, HELCOM BSPA, strefy tarlisk), co wzmacnia wymagania formalne i środowiskowe wobec działań.

3. Charakterystyka wraku i źródeł zagrożeń

Wrak został w latach 1955–1957 zdemolowany materiałami wybuchowymi, co spowodowało fragmentację kadłuba, perforacje i odsłonięcie przestrzeni wewnętrznych. Wskazano na:

- chroniczny, wieloletni wyciek substancji ropopochodnych (w tym paliwa ciężkiego/smoły pogazowej),
- degradację konstrukcji przez korozję i niestabilność elementów,
- ryzyka operacyjne przy ewentualnych pracach (np. resuspcja osadów, wtórne uwolnienia).

4. Identyfikacja zagrożeń i receptorów

Zagrożenia pogrupowano na: środowiskowe, techniczne, zdrowotne/żeglugowe oraz społeczne/wizerunkowe. Za kluczowe receptory uznano m.in. bentos i siedliska denne, tarliska ryb, ptaki morskie, a także elementy użytkowania przez człowieka (rybołówstwo, turystyka, infrastruktura).

5. Szacowanie ryzyka (macierz ryzyka)

Ryzyko oszacowano macierzą wg podejścia zgodnego z ISO 31000 i E-DBA, łącząc oceny:

- prawdopodobieństwa (1–3),
- skutków (1–4).

Dla wraku wyróżniono dwa główne scenariusze:

- Scenariusz A (chroniczne wycieki): ryzyko ocenione jako wysokie (dominujące obecnie).
- Scenariusz B (nagłe większe uwolnienie): ryzyko również wysokie (scenariusz krytyczny).

Dla obszaru skażonego (41,5 ha) wskazano utrzymujące się wysokie ryzyko przede wszystkim dla ekosystemu dennego i łańcucha troficznego, oraz podwyższone dla tarlisk i rybołówstwa.

6. Niepewności i luki danych

Za krytyczne uznano braki w danych dotyczących:

- aktualnej ilości paliwa w zbiornikach,
- stanu i grubości ścianek zbiorników,
- aktualnego tempa wycieku,
- ograniczeń w danych o bioakumulacji w lokalnych organizmach.

Zalecana jest zasada ostrożności oraz etapowanie decyzji wraz z uzupełnianiem danych.

7. Warianty zarządzania ryzykiem i rekomendacje

W odniesieniu do wraku:

- Oceniono trzy główne podejścia:
 - A: “No action” (tylko monitoring) – uznane za nieakceptowalne jako docelowe.
 - B: Containment (ograniczenie rozprzestrzeniania, np. capping, bariery) – możliwe jako wariant przejściowy/minimalny.
 - C: Intensywna interwencja – obejmująca m.in. odciążenie paliwa ze zbiorników (C1), ewentualne usuwanie elementów (C2) oraz/lub capping (C3); za optymalne wskazano połączenie C1 + C3.
- Zarekomendowano strategię etapową:
 - Etap 1 (0–12 mies.): diagnostyka, dokumentacja, decyzje środowiskowe, wzmocniony monitoring.
 - Etap 2 (12–24 mies.): odciążenie paliwa, lokalne uszczelnienia, monitoring efektów.
 - Etap 3 (24–48 mies.): capping i długoterminowy monitoring adaptacyjny.

W odniesieniu do skażonego obszaru 41,5 ha:

- Wskazano jako najbardziej racjonalne podejście hybrydowe (hotspoty – działania intensywne, strefy pośrednie – capping, peryferie – monitoring/ograniczenia użytkowania), z opisem kosztów rzędu dziesiątek do setek mln PLN zależnie od wariantu.
- Jako najbardziej przyjazne dla środowiska i równocześnie nie najdroższe wskazano rozwiązania przykrycia skażonego rejonu materiałami (capping ekologiczny) ułatwiającymi bioremediację gruntu.

8. Monitoring i zarządzanie adaptacyjne

Dokument proponuje program monitoringu (woda, osady, bioindykatory, stan wraku, integralność cappingu) z progami alarmowymi i decyzyjnymi oraz schematem reagowania (np. naprawy cappingu, intensyfikacja monitoringu, poszukiwanie nowych wycieków).

7.1 STAN OBECNY WRAKU „STUTTGART” PO DEMOLICJI - CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA KONTEKSTU

Nota: Warunki hydrodynamiczne a remobilizacja zanieczyszczeń

Jak opisano szczegółowo w rozdziale 2.6.1, warunki hydrodynamiczne w rejonie wraku Stuttgart charakteryzują się:

- **Warunki typowe (85-90% czasu):** Prądy słabe (1-5 cm/s), transport zanieczyszczeń minimalny;
- **Warunki sztormowe (5-10% czasu):** Prądy wzmożone (20-50 cm/s), resuspensja osadów, możliwy transport 1-10 km/epizod.

Niniejsza analiza ryzyka koncentruje się na **scenariuszach ekstremalnych** (sztormowych), które stanowią główne zagrożenie dla:

- rozprzestrzeniania zanieczyszczeń poza obszar pierwotny;
- integralności zabezpieczeń (capping);
- bezpieczeństwa prac remediacyjnych.

7.1.1 Położenie wraku „Stuttgart” w Zatoce Gdańskiej

Lokalizacja geograficzna:

Wrak S/S Stuttgart znajduje się w Zatoce Gdańskiej, w pobliżu Babich Dołów, na obszarze zewnętrznej części Zatoki Puckiej. Obszar stanowi strefę przejściową między płytszą Zatoką Pucką Wewnętrzną a głębszą częścią Zatoki Gdańskiej.

Charakterystyka akwenu:

Parametr	Wartość/Opis
Głębokość	ok. 20-25 m.
Typ dna	łły, muły z domieszką piasków - podłoże miękkie, sprzyjające zagłębieniu się konstrukcji.
Zasolenie	7-8 PSU (typowe dla tej części Bałtyku).
Temperatura przy dnie	4-8°C (sezonowo zmienna).

Warunki hydrodynamiczne:

- **Prądy morskie:** Dominują słabe prądy dryfowe (0,1-0,3 m/s), z okresowymi wzmożeniami podczas sztormów. Kierunek dominujący - cyrkulacja cyklonalna w Zatoce Gdańskiej, z potencjalnym transportem zanieczyszczeń w kierunku północno-wschodnim.
- **Falowanie:** Średnia wysokość fal 0,5-1,5 m, podczas sztormów do 4-5 m. Penetracja falowania do dna ograniczona przy głębokości >15 m.
- **Zjawiska lodowe:** Złodzenie występuje średnio (w latach kiedy takowe zaistnieje) przez 40-60 dni w roku (grudzień-marzec). Lód stały i dryfujący może powodować resuspensję osadów płytkowodnych, ale bezpośredni wpływ na wrak na głębokości 20-25 m jest minimalny.
- **Sezonowość:** Letnia stratyfikacja termiczna (termoklina) ogranicza mieszanie pionowe; zimą mieszanie pełne ułatwia dyspersję zanieczyszczeń w kolumnie wody.

7.1.2 Status prawny i środowiskowy obszaru

Obszary chronione:

Forma ochrony	Nazwa/Kod	Znaczenie dla analizy
Natura 2000 - OSO	Zatoka Pucka PLB220005	Ochrona ptaków morskich i wodno-błotnych
Natura 2000 - SOO	Zatoka Pucka i Półwysep Helski PLH220032	Ochrona siedlisk - łąki podwodne, siedliska denne
Obszar HELCOM BSPA	Baltic Sea Protected Area	Priorytetowy obszar ochrony ekosystemu bałtyckiego
Strefa ochrony tarlisk	Obszary tarła dorsza, śledzia	Ograniczenia sezonowe działalności

Ograniczenia wynikające z przepisów:

- Dyrektywa Siedliskowa 92/43/EWG - wymóg oceny oddziaływania na obszary Natura 2000;
- Dyrektywa Ptasia 2009/147/WE - ochrona gatunków ptaków;
- Ramowa Dyrektywa ws. Strategii Morskiej (MSFD) - cel: dobry stan środowiska morskiego do 2020/2027;
- Konwencja Helsińska (HELCOM) - zobowiązania dot. ochrony Bałtyku;
- Ustawa o obszarach morskich RP - wymagania dot. pozwoleń i ocen środowiskowych.

7.1.3 Charakterystyka demolicji/ingerencji we wrak

Tło historyczne:

- 1943 - zatonięcie S/S Stuttgart w wyniku nalotu bombowego a potem celowego zatopienia.
- 1955-1957 - demolicja wraku z użyciem materiałów wybuchowych w celu usunięcia przeszkody nawigacyjnej.
- 1957-obecnie - pozostawienie resztek kadłuba w dnie bez dalszej interwencji.

Charakter demolicji:

Demolicja przeprowadzona metodą wybuchową obejmowała:

- Usunięcie nadbudówek i elementów wystających ponad dno,
- Fragmentację górnych części kadłuba,
- Pozostawienie w dnie znacznej części konstrukcji bocznej i dennej kadłuba.

Konsekwencje dla integralności konstrukcji:

Element	Stan po demolicji	Implikacje dla ryzyka
Zbiorniki paliwowe	Prawdopodobnie częściowo nienaruszone, częściowo rozzerwane i otwarte na otoczenie- w części dennej zagłębionej w itach (2-3 m) -	Źródło ciągłego, powolnego uwalniania paliwa
Poszycie kadłuba	Pęknięcia, perforacje od wybuchów	Odstąpienie wewnętrznych przestrzeni
Konstrukcje nośne	Mocno zniszczone, niestabilne	Ryzyko dalszego rozpadu pod wpływem korozji
Przestrzenie zamknięte	Możliwe uwięzienie resztkowego paliwa	Potencjał nagłych uwolnień

Zmiany w dostępności zanieczyszczeń:

Demolicja wybuchowa naruszyła integralność zbiorników i przestrzeni wewnętrznych, co:

- Umożliwiło bezpośredni kontakt paliwa z wodą morską;
- Zwiększyło powierzchnię wymiany między paliwem a środowiskiem;
- Rozpoczęło proces wieloletniego, chronicznego wycieku szacowanego na 1000-1500+ ton paliwa ciężkiego (smoła pogazowa).

7.2 IDENTYFIKACJA POTENCJALNYCH ZAGROŻEŃ (HAZARD IDENTIFICATION)

7.2.1 Źródła ryzyka - systematyczna identyfikacja

A) Resztkowe paliwo i substancje ropopochodne

Tabela 46 Paliwo resztkowe

Źródło	Lokalizacja	Charakterystyka	Szacowana ilość
Paliwo ciężkie w zbiornikach	Zbiorniki denne zagłębione w itach	Smola pogazowa, płynna w temp. 4°C	Nieokreślona (potencjalnie 200-500+ ton resztkowych)
Paliwo w osadach	41,5 ha obszaru wokół wraku	WWA, fenole, metale ciężkie	>1000-1500 ton uwolnionych
„Jeziora” cieczy węglowej	Zagłębienia dna przy wraku i na stoku	Skoncentrowane depozyty	Punktowe akumulacje
Oleje smarne, hydrauliczne	Przestrzenie maszynowe	Związki ropopochodne	Nieznana

B) Degradacja strukturalna

- Korozja poszycia: Postępująca przez >80 lat, tempo korozji w wodach bałtyckich: 0,05-0,15 mm/rok,

- Pęknięcia i perforacje: Powstałe podczas demolicji i w wyniku korozji,
- Niestabilność fragmentów: Ryzyko przemieszczania się elementów konstrukcji,
- Osłabienie grodzi wewnętrznych: Potencjalne nagłe uwolnienia z dotychczas zamkniętych przestrzeni.

C) Ryzyka mechaniczne

- Ostre elementy konstrukcji: Zagrożenie dla nurków i sprzętu ROV
- Niestabilne fragmenty: Ryzyko osunięć podczas prac
- Potencjalne osuwiska osadów: Przy zakłóceniu struktury dna

7.2.2 Kategoryzacja zagrożeń

Tabela 47 ZAGROŻENIA ŚRODOWISKOWE

ID	Zagrożenie	Receptor	Mechanizm oddziaływania
E1	Chroniczne wycieki paliwa ciężkiego	Fauna i flora denna	Toksyczność bezpośrednia, bioakumulacja
E2	Skażenie osadów WWA	Benthos, tarliska	Kontakt, przenikanie do wody porowej
E3	Bioakumulacja w łańcuchu troficznym	Ryby → ptaki → ssaki	Biomagnifikacja toksyn
E4	Degradacja siedlisk chronionych	Łąki podwodne, siedliska bentosu	Zmiany chemizmu osadów
E5	Resuspensja skażonych osadów	Kolumna wody, organizmy filtrujące	Sztormy, trawlowanie, prace hydrotechniczne

Tabela 48 ZAGROŻENIA TECHNICZNE/INŻYNIERYJNE

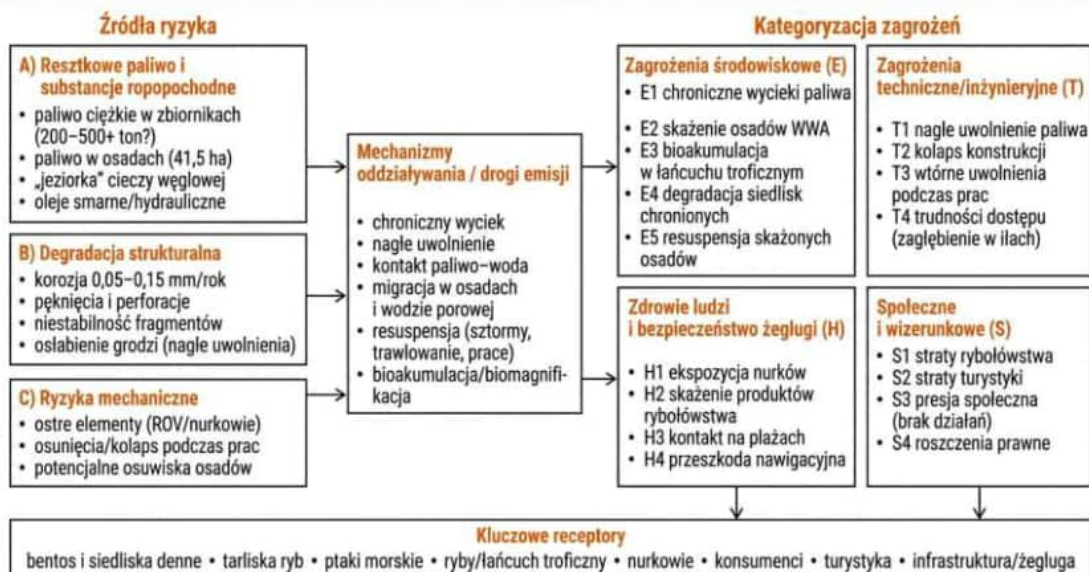
ID	Zagrożenie	Opis
T1	Nagłe uwolnienie paliwa	Pęknięcie zbiorników wskutek korozji lub zatkóceń mechanicznych
T2	Kolaps konstrukcji	Zawalenie się pozostałych elementów kadłuba
T3	Wtórne uwolnienia podczas prac	Remobilizacja zanieczyszczeń przy interwencjach
T4	Trudności w dostępie	Zagłębienie w łożach utrudnia operacje

Tabela 49 ZAGROŻENIA DLA ZDROWIA LUDZI I BEZPIECZEŃSTWA ŻEGLUGI

ID	Zagrożenie	Grupa narażona
H1	Ekspozycja nurków na substancje toksyczne	Nurkowie badawczy, ratownicy, nurkowie techniczni wykonujące prace na wraku
H2	Skażenie produktów rybołówstwa	Konsumenci ryb i owoców morza
H3	Kontakt z paliwem na plażach	Turyści, mieszkańcy (historycznie obserwowane)
H4	Przeszkoda nawigacyjna	Statki, jednostki pływające (ograniczenia w kotwiczeniu)

Tabela 50 ZAGROŻENIA SPOŁECZNE I WIZERUNKOWE

ID	Zagrożenie	Konsekwencje
S1	Straty ekonomiczne rybołówstwa	Ograniczenia połowów, spadek dochodów
S2	Straty w turystyce	Negatywny wizerunek regionu, skażone plaże
S3	Brak działań vs. oczekiwania społeczne	Utrata zaufania do władz, presja medialna
S4	Potencjalne roszczenia prawne	Odpowiedzialność za zanieczyszczenie obszaru Natura 2000

„IDENTYFIKACJA POTENCJALNYCH ZAGROZEŃ (HAZARD IDENTIFICATION) – wrak S/S „Stuttgart”


Rysunek 19 IDENTYFIKACJA POTENCJALNYCH ZAGROZEŃ (HAZARD IDENTIFICATION) — wrak S/S „Stuttgart” (źródła ryzyka → mechanizmy emisji → kategorie E/T/H/S → kluczowe receptory)

7.3 ANALIZA NARAŻENIA RECEPTORÓW

7.3.1 Identyfikacja kluczowych receptorów wrażliwych

Tabela 51 RECEPTORY EKOLOGICZNE

Receptor	Wrażliwość	Status ochronny	Stopień ekspozycji
Siedliska denne (bentos)	BARDZO WYSOKA	Natura 2000	Bezpośredni kontakt ze skażonymi osadami
Łąki podwodne (Zostera marina)	BARDZO WYSOKA	Siedlisko priorytetowe	Pośredni - sąsiedztwo obszaru skażenia
Tarliska ryb (dorsz, śledź, płastugi)	WYSOKA	Strefy ochronne	Ekspozycja sezonowa
Żerowiska ryb	WYSOKA	-	Ciągła ekspozycja
Organizmy filtrujące (matże, skorupiaki)	BARDZO WYSOKA	-	Bioakumulacja z wody i osadów
Foki szare	WYSOKA	Załącznik II Dyrektywy Siedliskowej	Ekspozycja poprzez łańcuch pokarmowy
Morświny	ŚREDNIA	Gatunek chroniony	Ekspozycja pośrednia
Ptaki morskie	WYSOKA	Dyrektywa Ptasia	Ekspozycja przez pokarm i kontakt powierzchniowy

Tabela 52 RECEPTORY ANTROPOGENICZNE

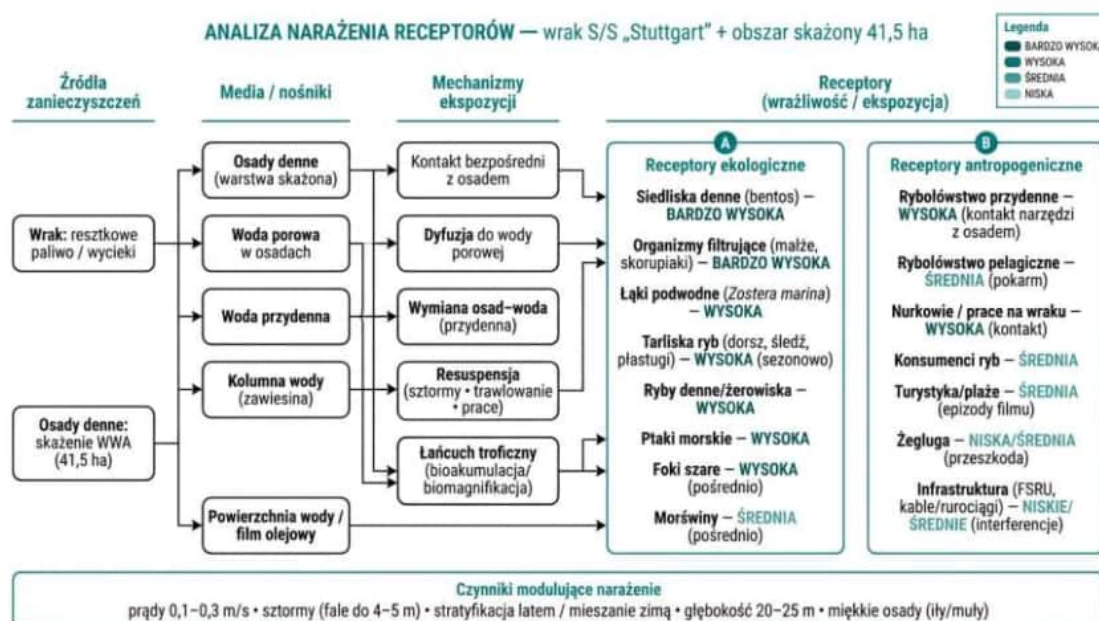
Receptor	Intensywność użytkowania	Typ ekspozycji
Rybołówstwo przydenne	WYSOKA (strefy połowowe)	Kontakt narzędzi z osadami, produkty
Rybołówstwo pelagiczne	ŚREDNIA	Produkty z łańcucha troficznego

Receptor	Intensywność użytkowania	Typ ekspozycji
Żegluga	ŚREDNIA	Przeszkoda nawigacyjna/ zanieczyszczenie na dnie
FSRU Gdańsk	PLANOWANA infrastruktura krytyczna	Sąsiedztwo operacyjne
Kable i rurociągi	ISTNIEJĄCE/PLANOWANE	Potencjalne interferencje
Turystyka i rekreacja	WYSOKA (sezonowo)	Jakość wody, plaże

7.3.2 Wpływ demolicji na ekspozycję

Tabela 53 Zmiany wynikające z demolicji (1955-1957)

Aspekt	Przed demolicją	Po demolicji	Zmiana ekspozycji
Geometria wraku	Kadłub w większości zamknięty	Fragmentacja, odstąpienie zbiorników	↑↑ WZROST
Kontakt paliwa z wodą	Ograniczony	Bezpośredni przez pęknięcia	↑↑ WZROST
Powierzchnia wymiany	Minimalna	Znacznie zwiększona	↑↑ WZROST
Stabilność konstrukcji	Względna	Niestabilna, postępująca degradacja	↑ WZROST ryzyka nagłych uwolnień
Dostępność dla interwencji	Trudna (głębokość)	Jeszcze trudniejsza (zagłębienie w itach)	↓ SPADEK możliwości remediacji



Rysunek 20 „ANALIZA NARAŻENIA RECEPTORÓW — wrak S/S „Stuttgart” + obszar skażony 41,5 ha” (źródła → media/nośniki → mechanizmy ekspozycji → receptory ekologiczne i antropogeniczne + pasek czynników modulujących i legenda poziomów narażenia).

Mechanizmy zwiększonej ekspozycji:

1. Migracja zanieczyszczeń: Zmiana geometrii wraku umożliwiła swobodny wypływ paliwa do osadów;

2. Rozdrobnienie elementów: Zwiększenie kontaktu materiału konstrukcyjnego z wodą (korozja);
3. Resuspensja podczas demolicji: Uwolnienie znacznych ilości paliwa do kolumny wody i osadów;
4. Efekt długoterminowy: 70 lat ciągłego wycieku = akumulacja na obszarze 41,5-41,5+ ha.

7.4 SZACOWANIE RYZYKA (MACIERZ RYZYKA)

7.4.1 Metodyka oceny

Zastosowano macierz ryzyka zgodną z ISO 31000:2009 oraz metodą E-DBA:

Tabela 54 Skala prawdopodobieństwa

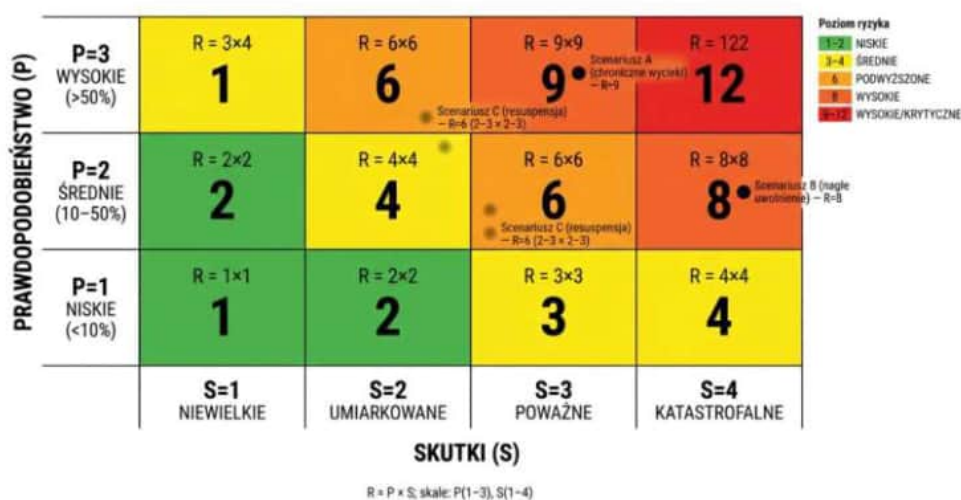
Poziom	Wartość	Opis
Niskie	1	Mało prawdopodobne (< 10% w horyzoncie czasowym)
Średnie	2	Możliwe (10-50%)
Wysokie	3	Prawdopodobne (> 50%)

Tabela 55 Skala skutków

Poziom	Wartość	Opis
Niewielkie	1	Lokalne, odwracalne skutki
Umiarkowane	2	Regionalne skutki, częściowo odwracalne
Poważne	3	Znaczące skutki ekosystemowe, długotrwałe
Katastrofalne	4	Nieodwracalne szkody na dużą skalę

7.4.2 Macierz ryzyka:

Macierz ryzyka (ISO 31000 / E-DBA) – wrak S/S „Stuttgart”



Rysunek 21 Macierz ryzyka (ISO 31000 / E-DBA) dla skali z dokumentu (P: 1-3, S: 1-4), z kolorami poziomów ryzyka oraz zaznaczonymi scenariuszami:

- A (chroniczne wycieki) R=9,
- B (nagłe uwolnienie) R=8,
- C (resuspensja) R≈6.

7.4.3 Ocena scenariuszy ryzyka

SCENARIUSZ A: Chroniczne, ciągłe wycieki małych ilości paliwa.

Tabela 56 Scenariusz A

Parametr	Ocena	Uzasadnienie
Prawdopodobieństwo	3 (WYSOKIE)	Obserwowane od 1957 r. fizycznie udokumentowane
Skutki środowiskowe	3 (POWAŻNE)	41,5 ha skażenia, chroniczna toksyczność, bioakumulacja
RYZYKO	9 (WYSOKIE)	Dominujący scenariusz dla obecnego stanu

SCENARIUSZ B: Nagłe, większe uwolnienie paliwa.

Tabela 57 Scenariusz B

Parametr	Ocena	Uzasadnienie
Prawdopodobieństwo	2 (ŚREDNIE)	Możliwe przy kolapsie konstrukcji lub pracach
Skutki środowiskowe	4 (KATASTROFALNE)	Masowe skażenie, zamknięcie plaż, straty w rybołówstwie
RYZYKO	8 (WYSOKIE)	Scenariusz krytyczny (worst-case)

SCENARIUSZ C: Wtórna resuspensja skażonych osadów

Tabela 58 Scenariusz C

Parametr	Ocena	Uzasadnienie
Prawdopodobieństwo	2 – 3 (ŚREDNIE- WYSOKIE)	Sztormy, trawlowanie, prace hydrotechniczne
Skutki środowiskowe	2-3 (Umiarkowane)	Remobilizacja WWA do kolumny wody
RYZYKO	6 (PODWYŻSZONE)	Istotne przy planowaniu działań

7.4.4 Perspektywa czasowa ryzyka

Tabela 59 Zestawienie horyzontów czasowych

Horyzont	Ryzyko wycieku	Ryzyko środowiskowe	Trend
Krótkoterminowy (0-5lat)	WYSOKIE	WYSOKIE	Stabilny wysoki
Średnioterminowy (5-20 lat)	WYSOKIE	WYSOKIE-BARDZO WYSOKIE	Narastający
Długoterminowy (20-50 lat)	ŚREDNI_WYSOKIE	BARDZO WYSOKIE	Akumulacja skutków

Dominujący scenariusz: SCENARIUSZ A (chroniczne wycieki) stanowi główne zagrożenie dla obecnego stanu po demolicji, z rosnącym ryzykiem scenariusza B w miarę postępu degradacji konstrukcji.

7.5 OCENA NIEPEWNOŚCI I LUK W DANYCH

7.5.1 Identyfikacja luk w danych

Tabela 60 Luki w danych

Obszar	Dostępne dane	Brakujące dane	Wpływ na ocenę
Inwentaryzacja paliwa	Szacunki historyczne	Aktualna ilość resztkowa w zbiornikach	KRYTYCZNY
Stan konstrukcji	Badania 2025, sonar	Szczegółowy stan zbiorników zagłębionych w łożach	WYSOKI
Zasięg skażenia	Badania 1999-2025 (41,5-45 ha)	Dostępne jest pełne mapowanie 3D stężeń	NISKI
Tempo wycieku	Brak ciągłego monitoringu	Aktualne tempo uwalniania paliwa	WYSOKI
Korozja zbiorników	Brak bezpośrednich pomiarów	Pozostała grubość ścianek	KRYTYCZNY
Bioakumulacja	Ograniczone badania	Stężenia WWA w organizmach lokalnych	ŚREDNI

7.5.2 Wpływ niepewności na decyzje zarządcze

Zastosowanie zasady ostrożności:

W obliczu znacznych niepewności rekomenduje się:

1. Scenariusze konserwatywne: Przyjmowanie pesymistycznych założeń dot. ilości resztkowego paliwa i stanu zbiorników.
2. Margines bezpieczeństwa: Planowanie działań z uwzględnieniem najgorszego przypadku.
3. Monitoring adaptacyjny: Systematyczne uzupełnianie danych przed podjęciem nieodwracalnych decyzji
4. Etapowość działań: Rozpoczęcie od badań diagnostycznych przed intensywną interwencją.

Priorytety uzupełnienia danych:

1.		PILNE	Badanie grubości korozyjnej zbiorników paliwowych
2.		PILNE	Oszacowanie aktualnej zawartości paliwa
3.		WAŻNE	Pełne mapowanie stężeń WWA w osadach
4.		ISTOTNE	Biomonitoring lokalnego łańcucha troficznego

7.6 Analiza barier krytycznych (Bow-Tie) – Safety Case

W celu zapewnienia systematycznego zarządzania ryzykiem podczas realizacji PNZ, dla trzech najistotniejszych scenariuszy zagrożeń przeprowadzono szczegółową **analizę barier** w metodologii **Bow-Tie** (analiza „muszki”). Metodologia ta pozwala na:

- identyfikację przyczyn zdarzeń niepożądanych (lewą stronę diagramu),
- określenie barier prewencyjnych (zapobiegających wystąpieniu zdarzenia),
- określenie barier mitygacyjnych (ograniczających skutki, jeśli zdarzenie wystąpi),
- przypisanie odpowiedzialności za bariery
- zdefiniowanie mierników skuteczności barier

Poniżej przedstawiono analizę dla **trzech scenariuszy o najwyższym priorytecie** zidentyfikowanych w rozdziale 7.4:

7.6.1 Scenariusz BT-1: Nagłe, niekontrolowane uwolnienie dużej ilości paliwa z wraku

Zdarzenie centralne (Top Event):

Nagłe uwolnienie $> 10 \text{ m}^3$ paliwa ciężkiego z wraku Stuttgart w wyniku zawalenia się konstrukcji lub uszkodzenia zbiornika

Przyczyny (Threats):

1. Degradacja konstrukcji wraku (korozja, zmęczenie materiału)
2. Oddziaływanie zewnętrzne (kotwiczenie, trałowanie, kolizja statku)
3. Działanie sił przyrody (silne prądy/fale podczas sztormu, osuwisko dna)
4. Niewłaściwe działanie podczas prac remediacyjnych (uszkodzenie zbiornika przez sprzęt)

Tabela 61 Bariery prewencyjne (zapobiegające uwolnieniu):

Bariera	Opis	Właściciel	Miernik skuteczności	Działanie przy awarii bariery
BP1-1: Monitoring stanu wraku	Regularne inspekcje ROV (raz na 6–12 miesięcy) – ocena stabilności konstrukcji, identyfikacja pęknięć, osunięć	UM Gdynia / Wykonawca monitoringu	Liczba inspekcji/rok; % wykrytych zmian w konstrukcji	Zwiększenie częstotliwości inspekcji; alert do zespołu zarządzającego
BP1-2: Strefa wykluczenia	Zakaz kotwiczenia i trałowania w promieniu 500 m od wraku (oznakowanie, nadzór)	UM Gdynia / Straż Graniczna	Liczba naruszeń/rok (target: 0)	Kontrole Straży Granicznej; mandaty; modyfikacja oznakowania (jeśli nieefektywne)
BP1-3: Defueling (usunięcie paliwa)	Aktywne usunięcie paliwa z dostępnych zbiorników (hot-tapping) – eliminacja źródła	Wykonawca robót / UM Gdynia	Objętość usuniętego paliwa (target: $>80\%$ szacowanej zawartości)	Jeśli defueling niemożliwy → przejście na plan B (capping wraku, monitoring intensywny)
BP1-4: Okna pogodowe	Prowadzenie prac wyłącznie w bezpiecznych warunkach pogodowych (wiatr $<12 \text{ m/s}$, fala $<2 \text{ m}$)	Kierownik robót	% dni z wstrzymaniem prac zgodnie z prognozą	Jeśli prace prowadzone mimo ostrzeżeń → stop-work przez nadzór

Skutki (Consequences, jeśli zdarzenie wystąpi):

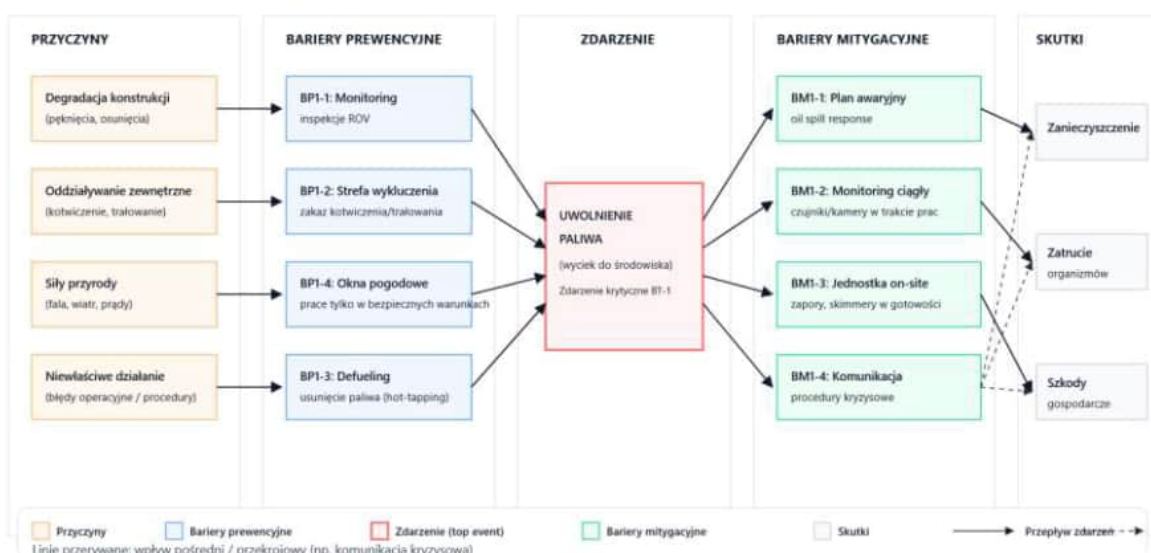
1. Zanieczyszczenie toni wodnej (plama oleju powierzchniowa, rozpuszczone frakcje).
2. Zanieczyszczenie osadów dennych (sedymentacja ciężkich frakcji paliwa).
3. Zatrucie organizmów morskich (ostry efekt toksyczny).
4. Szkody gospodarcze (rybołówstwo, turystyka, zamknięcie plaż).
5. Szkody reputacyjne/polityczne (utrata zaufania do projektu).

Tabela 62 Bariery mitygacyjne (ograniczające skutki)

Bariera	Opis	Właściciel	Miernik skuteczności	Działanie przy awarii bariery
BM1-1: Plan awaryjny (oil spill response)	Gotowy plan reakcji na wyciek, z określeniem środków (zapory, skimmery, dyspergatory), jednostek, kontaktów	UM Gdynia / PRO	Czas reakcji (target: <6h od wykrycia do pierwszej interwencji); ćwiczenia 1×/rok	Aktualizacja planu; dodatkowe szkolenia
BM1-2: Monitoring ciągły w trakcie prac	Monitoring w czasie rzeczywistym (kamery podwodne, czujniki olejowe) podczas prac przy wraku	Wykonawca / Koordynator środowiskowy	Czas detekcji wycieku (target: <30 min)	Modernizacja systemu monitoringu; dodanie czujników
BM1-3: Jednostka interwencyjna on-site	Jednostka z zaporami i skimmerami w gotowości podczas prac wysokiego ryzyka (defueling)	PRO / Wykonawca	Gotowość jednostki (target: 100% podczas prac); czas rozpoczęcia stawiania zapor: <1h	Jeśli brak gotowości → wstrzymanie prac wysokiego ryzyka
BM1-4: Komunikacja kryzysowa	Procedury informowania mediów, interesariuszy, organów (wg scenariusza K4 z rozdz. 8.3.1)	Rzecznik UM Gdynia	Czas wydania pierwszego komunikatu (target: <24h od zdarzenia)	Przegląd procedur; szkolenia

Diagram Bow-Tie BT-1

Zdarzenie krytyczne: uwolnienie paliwa z wraku (BT-1)



Rysunek 22 Diagram Bow-Tie BT-1 dla sytuacji: Nagłe, niekontrolowane uwolnienie dużej ilości paliwa z wraku

7.6.2 Scenariusz BT-2: Wtórna resuspensja i rozprzestrzenianie zanieczyszczeń podczas prac re- mediacyjnych

Zdarzenie centralne (Top Event):

Prace remediacyjne (dredging, defueling, instalacja cappingu) powodują masową resuspensję osadów skażonych, prowadzącą do rozprzestrzenienia zanieczyszczeń poza obszar planowany.

Przyczyny (Threats):

1. Niewłaściwy dobór technologii (np. agresywny dredging zamiast precyzyjnego ssania).
2. Niewłaściwe wykonanie prac (za duża prędkość, zbyt blisko dna).
3. Niesprzyjające warunki środowiskowe (prądy, fale – mimo że w “oknie pogodowym”).
4. Awaria sprzętu (np. rozerwanie węża ssącego, upadek elementu cappingu).

Tabela 63 Bariery prewencyjne

Bariera	Opis	Właściciel	Miernik skuteczności	Działanie przy awarii bariery
BP2-1: Wybór odpowiedniej technologii	Analiza wariantów, wybór metod minimalizujących resuspensję (np. ssanie zamiast czerpania, precyzyjny ROV)	Projektant / UM Gdynia	Zgodność wybranej technologii z wymogami OOS	Jeśli wykonawca proponuje inną technologię → wymóg dodatkowej oceny wpływu
BP2-2: Procedury operacyjne	Szczegółowe SOPs (Standard Operating Procedures) dla prac – prędkości, wysokości nad dnem, sekwencja działań	Wykonawca / Nadzór	Zgodność wykonania z SOPs (audyty w trakcie prac: target 100%)	Szkolenia; kary umowne za naruszenie SOPs
BP2-3: Kurtyny osadowe / Geotube	Fizyczna bariera (kurtyny osadowe, geo-tube) wokół strefy prac – ogranicza rozprzestrzenianie suspensji	Wykonawca	Szczelność kurtyn (kontrola wizualna ROV: codziennie); % osadów przechwyconych	Naprawa kurtyn; modyfikacja układu (np. podwójna kurtyna)
BP2-4: Monitoring real-time turbidności	Pomiar mętności wody (turbidity) w czasie rzeczywistym, progi alarmowe (np. >50 NTU na 50 m od strefy)	Koordynator środowiskowy	Ciągłość pomiarów (target: >95% czasu prac); czas reakcji na alarm (<30 min)	Jeśli przekroczenie progu → natychmiastowy stop-work, ocena przyczyn

Skutki (jeśli resuspensja wystąpi):

1. Rozprzestrzenienie zanieczyszczeń na większy obszar (rozszerzenie plamy).
2. Zwiększona biodostępność zanieczyszczeń (WWA, metale w toni wodnej → dostęp dla ryb, zooplanktonu).
3. Degradacja jakości wody (mętność, obniżenie tlenu).
4. Negatywny wpływ na ekosystem (stres dla organizmów, ryzyko śnięcia ryb).
5. Konieczność rozszerzenia zakresu remediacji (większy obszar do oczyszczenia).

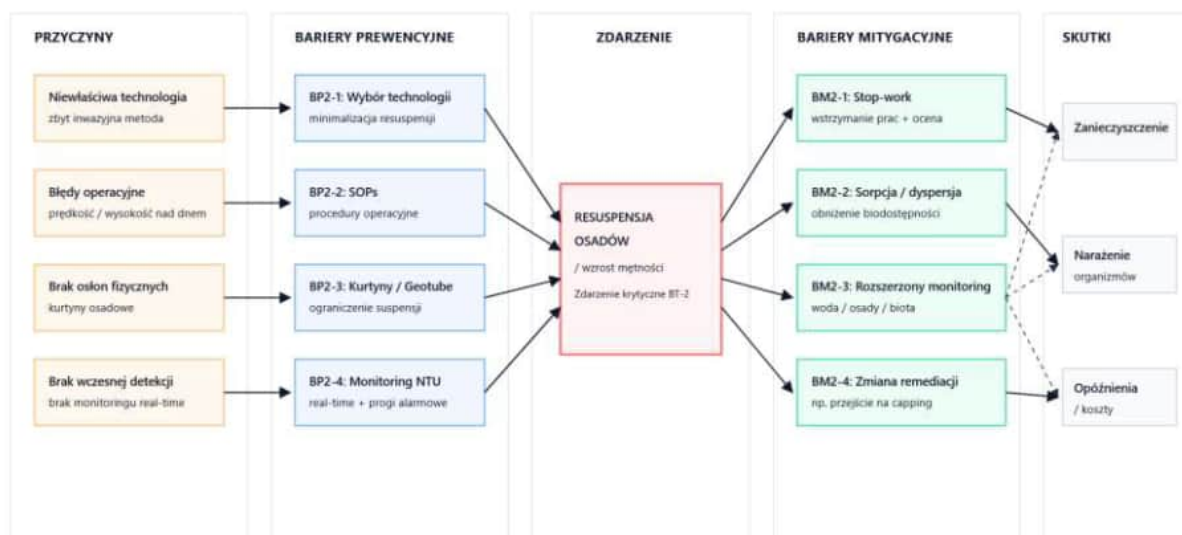
Tabela 64 Bariery mitygacyjne

Bariera	Opis	Właściciel	Miernik skuteczności	Działanie przy awarii bariery
BM2-1: Stop-work i ocena	Natychmiastowe wstrzymanie prac przy przekroczeniu progów turbidności; ocena zasięgu suspensji	Koordynator środowiskowy / Kierownik robotów	Liczba stop-work/rok; czas od alarmu do stop (<30 min)	Jeśli stop-work nie działa (prace kontynuowane mimo alarmu) → interwencja nadzoru/UM Gdynia

BM2-2: Działania awaryjne – dyspersja/sorpacja	Użycie środków sorpcyjnych (np. węgiel aktywny w formie dyspersyjnej) lub biostymulatorów dla obniżenia biodostępności	Wykonawca / Koordynator środowiskowy	Czas wdrożenia (target: <24h od zdarzenia)	Jeśli środki niedostępne → zakup/sprowadzenie priorytetowe
BM2-3: Rozszerzenie monitoringu	Dodatkowe punkty pomiarowe (woda, osady, biota) w obszarze podejrzanym o rozprzestrzenienie	Wykonawca monitoringu	Wykonanie pomiarów w ciągu 48h od zdarzenia	Aktualizacja mapy skażenia; decyzja o rozszerzeniu remediacji
BM2-4: Modyfikacja planu remediacji	Jeśli resuspensja poważna → zmiana metody na mniej inwazyjną (np. rezygnacja z dredgingu, przejście na capping)	UM Gdynia / Projektant	Czas decyzji (<1 tydzień od zdarzenia)	Konsultacje z RDOŚ/WIOŚ; ewentualna aktualizacja OOS

Diagram Bow-Tie BT-2

Zdarzenie krytyczne: resuspensja osadów / wzrost mętności



Rysunek 23 Diagram Bow-Tie BT-1 dla Wtórna resuspensja i rozprzestrzenianie zanieczyszczeń podczas prac re-remediacyjnych

7.6.3 Scenariusz BT-3: Incydent z niewybuchem (UXO) podczas prac remediacyjnych (SIMOPS – Simultaneous Operations)

Zdarzenie centralne (Top Event):

Incydent z UXO (nieplanowana detonacja, uszkodzenie, uwolnienie toksycznych substancji z amunicji chemicznej) podczas równoczesnych prac przy wraku, remediacji osadów i/lub działań EOD.

Przyczyny (Threats):

1. Nieodkryty UXO w obszarze prac (niedoskonałość badań UXO sondaż).

2. Przypadkowe oddziaływanie sprzętu na UXO (uderzenie czerpaka, ROV, zakotwiczenie).
3. Nieprawidłowa identyfikacja obiektu (błąd w klasyfikacji: uznano za złom, a to UXO).
4. Nieprzestrzeganie procedur SIMOPS (zbyt blisko prac EOD prowadzone są inne roboty).
5. Detonacja zamierzona (EOD), ale z większym skutkiem niż przewidziano (efekt domina – inne UXO w pobliżu).

Tabela 65 Bariery prewencyjne (BP3)

Bariera	Opis	Właściciel	Miernik skuteczności	Działanie przy awarii bariery
BP3-1: Szczegółowy UXO sondaż	Przegląd całego obszaru (magnetometria, sonar, ROV video) przed rozpoczęciem prac remediacyjnych	Wykonawca UXO sondaż / UM Gdynia	% pokrycia obszaru (target: 100%); liczba zidentyfikowanych pUXO	Jeśli pokrycie <100% → dodatkowy sondaż; jeśli pUXO wykryte → EOD clearance przed pracami
BP3-2: Procedury SIMOPS	Szczegółowe procedury przestrzenne i czasowe: strefa wykluczenia 200–500 m wokół prac EOD; zakaz prac remediacyjnych podczas detonacji	Koordinator EOD / Kierownik robót	Zgodność z procedurami (audyty: target 100%); liczba naruszeń (target: 0)	Szkolenia; kary; w przypadku naruszenia → stop wszystkich prac, rewizja procedur
BP3-3: Identyfikacja i klasyfikacja obiektów	Każdy podejrzany obiekt (metalowy, nieregularny) musi być sprawdzony przez eksperta EOD przed kontynuacją prac w jego pobliżu	Ekspert EOD / Nadzór	% obiektów sprawdzonych przez EOD (target: 100%); czas reakcji (<24h od zgłoszenia podejrzanego obiektu)	Jeśli obiekt nie został sprawdzony, a prace kontynuowano → dyscyplinarne; przegląd procedur
BP3-4: Technologie minimalizujące ryzyko kontaktu	Użycie ROV/AUV zamiast bezpośredniego kontaktu ludzi/ciężkiego sprzętu w strefach wysokiego ryzyka UXO	Projektant / Wykonawca	% prac w strefach UXO wykonanych zdalnie (target: >80%)	Jeśli konieczny kontakt bezpośredni → eskorta EOD, procedury emergencyjne

Skutki (jeśli incydent UXO wystąpi):

1. Ofiary w ludziach (śmierć, ranni – personel na jednostkach, nurkowie)
2. Zniszczenie sprzętu (ROV, barki, czujniki)
3. Dodatkowe zanieczyszczenie (uwolnienie WWA z amunicji, metali ciężkich; w przypadku amunicji chemicznej – toksyny)
4. Zatrzymanie projektu (dochodzenie, rewizja bezpieczeństwa – opóźnienie miesiące/lata)
5. Szkody reputacyjne (utrata zaufania, możliwe skargi, procesy)

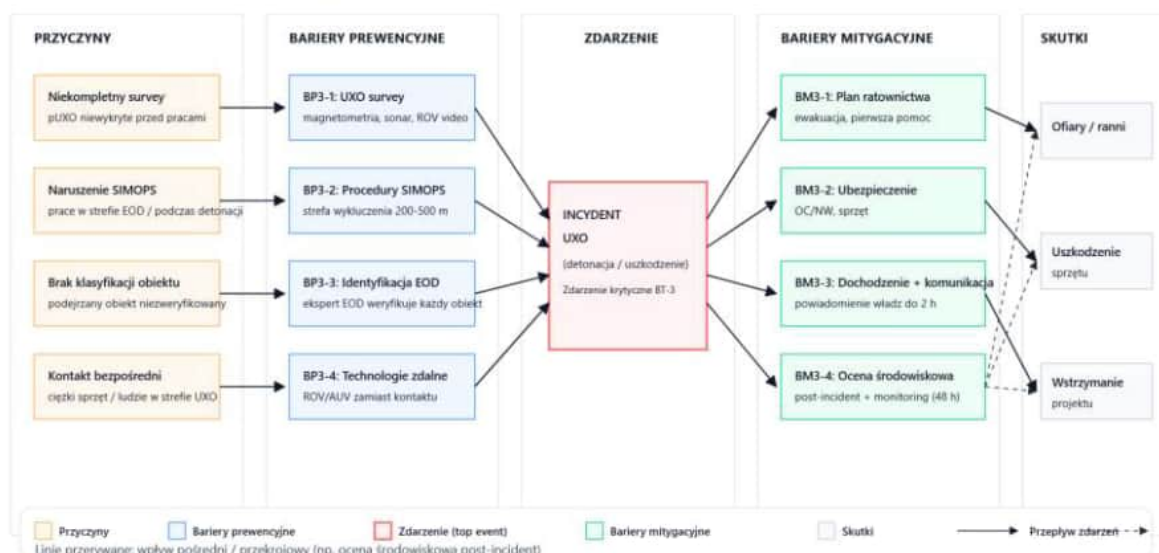
Tabela 66 Bariery mitygacyjne (BM3)

Bariera	Opis	Właściciel	Miernik skuteczności	Działanie przy awarii bariery
BM3-1: Plan ratownictwa i pierwszej pomocy	Gotowy plan ewakuacji, jednostka ratownicza w pobliżu, personel przeszkolony w pierwszej pomocy	Kierownik robót / Służby ratownicze	Czas reakcji (target: <15 min od incydentu do pierwszej pomocy); ćwiczenia 2×/rok	Aktualizacja planu; dodatkowe szkolenia; jeśli czas reakcji za długi → zmiana lokalizacji jednostki ratowniczej

BM3-2: Ubezpieczenie i odszkodowania	Ubezpieczenie OC, NW dla personelu, ubezpieczenie sprzętu	UM Gdynia / Wykonawca	Pokrycie ubezpieczeniowe (target: 100% personelu i sprzętu); wysokość sum ubezpieczeniowych	Jeśli luki w ubezpieczeniu → uzupełnienie polis
BM3-3: Protokół dochodzenia i komunikacji	Natychmiastowe powiadomienie władz (WIOŚ, PAA, prokuratura), zabezpieczenie miejsca, dochodzenie przyczyn	UM Gdynia / Służby państwowe	Czas powiadomienia (target: <2 h od incydentu); jakość dokumentacji	Szkolenia; procedury; jeśli opóźnienia → analiza przyczyn i naprawa
BM3-4: Ocena wpływu na środowisko (post-incident)	Po incydencie: ocena skażenia (jeśli UXO uwolniło toksyny), rozszerzenie monitoringu	Koordynator środowiskowy	Wykonanie oceny w ciągu 48 h od incydentu	Jeśli skażenie potwierdzone → rozszerzenie remediacji

Diagram Bow-Tie BT-3

Zdarzenie krytyczne: incydent UXO (niewybuch / niewypał)



Rysunek 24 Diagram Bow-Tie BT-1 dla Incydent z niewybuchem (UXO) podczas prac remediacyjnych (SIMOPS – Simultaneous Operations)

7.6.4 Synteza – zarządzanie barierami

Dla każdej z barier zidentyfikowanych w analizie Bow-Tie:

- Właściciel bariery** jest odpowiedzialny za:
 - Utrzymanie sprawności bariery (np. przeglądy, konserwacja sprzętu)
 - Monitorowanie miernika skuteczności
 - Reakcję w przypadku awarii bariery (działania naprawcze)
- Mierniki skuteczności barier** są monitorowane:
 - Ciągłe (dla barier automatycznych, np. monitoring turbidności)
 - Okresowo (dla barier proceduralnych, np. audyty zgodności z SOPs)
 - Po zdarzeniach (dla barier reaktywnych, np. czas reakcji służb ratowniczych)
- Przegląd barier** – co kwartał zespół zarządzający projektem dokonuje przeglądu:

- Czy wszystkie bariery są sprawne?
- Czy mierniki wskazują na problemy?
- Czy potrzebne są modyfikacje (nowe bariery, wzmocnienie istniejących)?
- 4. **Rejestr barier** – prowadzony przez koordynatora QHSE/ryzyka, zawiera:
 - Listę wszystkich barier (jak w tabelach powyżej)
 - Aktualny status (sprawna / wymaga naprawy / awaria)
 - Historie awarii i działań naprawczych

7.7 STRATEGIE ZARZĄDZANIA RYZYKIEM

7.7.1 Wariant A: „NO ACTION” - Pozostawienie z monitoringiem

Tabela 67 Utrzymanie status quo z wdrożeniem programu monitoringu środowiskowego.

Aspekt	Ocena
Korzyści	Brak ryzyk wtórnego uwolnienia podczas prac; niskie koszty bezpośrednie
Ryzyka	Kontynuacja degradacji; możliwe rozszerzenie skażenia; narastanie odpowiedzialności prawnej
Ryzyko środowiskowe	NIEAKCEPTOWALNE (narastające)
Zgodność z prawem	Wątpliwa (MSFD, Natura 2000)
Odbiór społeczny	Negatywny
Wpływ krótkoterminowy	Neutralny – brak zmiany
Wpływ długoterminowy	NEGATYWNY- akumulacja skutków środowiskowych

Ocena:  ODRZUCONY jako docelowy (tylko tymczasowy).

Środki łagodzące:

- Intensywny monitoring (kwartalny)
- Strefy ograniczeń dla rybołówstwa dennego
- System wczesnego ostrzegania (wykrywanie zwiększonych wycieków)

Ocena:  **NIE ZALECANY** jako wariant docelowy ze względu na niezgodność z zasadą prewencji i wymogami ochrony obszaru Natura 2000.

7.7.2 Wariant B: Ograniczenie rozprzestrzeniania (Containment)

Opis: Instalacja barier fizycznych, capping (przykrycie) bez usuwania źródła. Lokalne uszczelnienia, zabezpieczenia, minimalne prace techniczne bez pełnego usuwania źródła.

Zakres działań:

- Identyfikacja i uszczelnienie widocznych punktów wycieku
- Lokalne capping (przykrycie) najbardziej skażonych stref
- Instalacja barier ograniczających migrację paliwa
- Wzmocniony monitoring

Tabela 68 Instalacja barier fizycznych

Aspekt	Ocena
Korzyści	Ograniczenie tempa dalszego skażenia; umiarkowane koszty
Skuteczność	Średnia (nie usuwa źródła)
Ryzyko	Niskie, Ryzyko wtórnego uwolnienia podczas prac; niepełna skuteczność
Trwałość	Ograniczona (wymaga konserwacji)
Skuteczność	Średnia (nie usuwa źródła)
Wpływ krótkoterminowy	Możliwe lokalne zaburzenia podczas prac
Wpływ długoterminowy	UMIARKOWANIE POZYTYWNY – spowolnienie, nie eliminacja problemu

Środki łagodzące:

- Okna czasowe prac (ETW - Environmental Time Windows) poza sezonem rozrodu
- Kurtyny osadowe podczas prac
- Monitoring online stężeń WWA w kolumnie wody

Ocena:  **WARIANT PRZEJŚCIOWY** - może stanowić etap wstępny przed pełną interwencją.

7.7.3 Wariant C: Intensywna interwencja

Opis: Częściowe lub pełne usunięcie zanieczyszczeń i/lub źródła (zbiorników paliwowych).

Tabela 69 Podwarianty:

Podwariant	Zakres	Ryzyko wtórne	Skuteczność
C1: Odciągnięcie paliwa ze zbiorników	Tylko usunięcie płynnego paliwa	ŚREDNIE	WYSOKA dla źródła
C2: Usunięcie zbiorników	Ekstrakcja zbiorników z dna	WYSOKIE	BARDZO WYSOKA
C3: Capping obszaru wraku	Przykrycie bez usuwania	NISKIE	ŚREDNIA
C4: Kombinacja C1+C3	Odciągnięcie + capping	ŚREDNIE	WYSOKA

Tabela 70 Ocena ryzyka wtórnego dla wariantu C2:

Etap	Ryzyko	Środki minimalizacji
Odkopanie zbiorników	Uwolnienie paliwa uwięzionego w ichtach	Ssanie próżniowe, izolacja strefowa
Ekstrakcja	Pęknięcia, wycieki	Systemy zbierania, kurtyny
Transport	Rozlanie	Hermetyczne pojemniki

Środki łagodzące (dla wszystkich podwariantów):

Techniczne:

- Zastosowanie technologii HOT TAP do bezpiecznego drenażu zbiorników.
- Systemy ssąco-zbierające.
- Kurtyny osadowe i olejowe.
- ROV z systemami wizyjnymi HD.

Organizacyjne:

- ETW - prace tylko w okresie październik-marzec (poza sezonem rozrodu).
- Zespoły reagowania kryzysowego w gotowości.
- Ciągły monitoring online.

Prawne:

- Uzyskanie decyzji środowiskowej.
- Raport OOŚ dla obszaru Natura 2000.
- Plan zarządzania ryzykiem zatwierdzony przez RDOŚ.

Ocena:  **ZALECANY** (kombinacja C1+C3 jako optimum kosztów i skuteczności)

7.7.4 System monitoringu

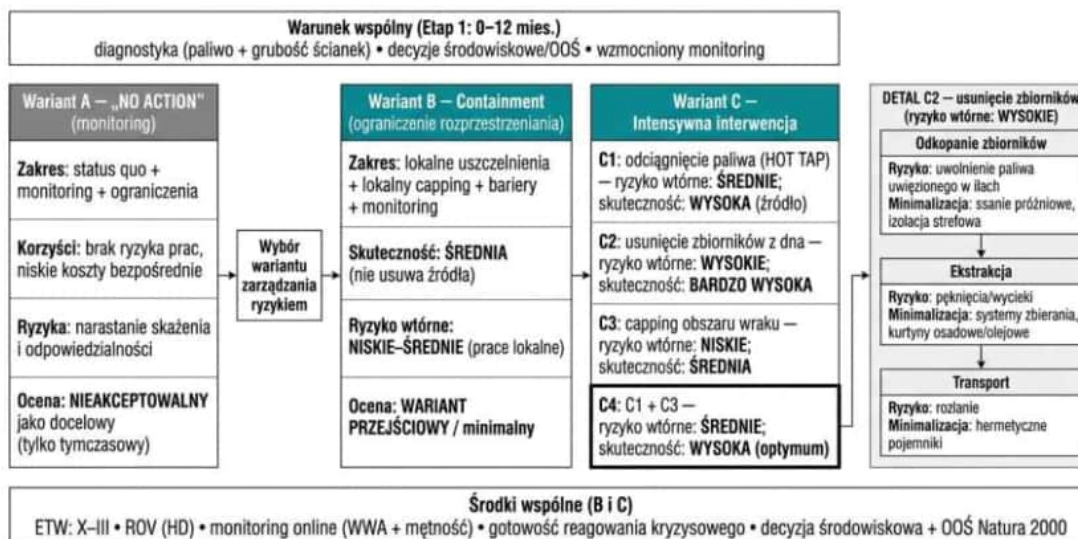
Tabela 71 Proponowany program monitoringu:

Parametr	Metoda	Częstotliwość	Próg alertowy
Stężenie WWA w wodzie	Chromatografia (GC-MS)	Miesięczna	> 0,1 µg/l
Stężenie WWA w osadach	GC-MS po ekstrakcji	Kwartalna	> 1 mg/kg s.m.
Film olejowy na powierzchni	Wizualna + drony	Tygodniowa	Jakikolwiek film
Grubość warstwy skażonej	Sondy sedymentacyjne	Półroczna	Wzrost >5%
Bioindykatory (omułek, małże)	Analiza tkanek	Kwartalna	WWA >100 ng/g lipidów
Stan konstrukcji wraku	ROV, sonar	Roczna	Nowe pęknięcia

Narzędzia monitoringu:

- Pomiary in situ: sondy wieloparametrowe, fluorometry.
- Próbkowanie: chwytacze osadów, próbniki wody.
- Zdalny nadzór: drony (UAV), sonar boczny, ROV.
- Nurkowie: inspekcja wizualna, pobór próbek punktowych.

1.6 STRATEGIE ZARZĄDZANIA RYZYKIEM – wrak S/S „Stuttgart” (warianty A, B, C oraz C2)



Rysunek 25 STRATEGIE ZARZĄDZANIA RYZYKIEM — wrak S/S „Stuttgart” (warianty A, B, C oraz C2)”

7.8 REKOMENDACJE STRATEGICZNE

7.8.1 Zalecany wariant postępowania

REKOMENDACJA: Wdrożenie strategii etapowej łączącej warianty B i C:

ETAP 1 (0-12 miesięcy): Diagnostyka i przygotowanie.

- Uzupelnienie luk w danych (badania grubości zbiorników, oszacowanie zawartości paliwa).
- Opracowanie szczegółowego projektu interwencji.
- Uzyskanie decyzji środowiskowych.
- Wdrożenie wzmocnionego monitoringu.

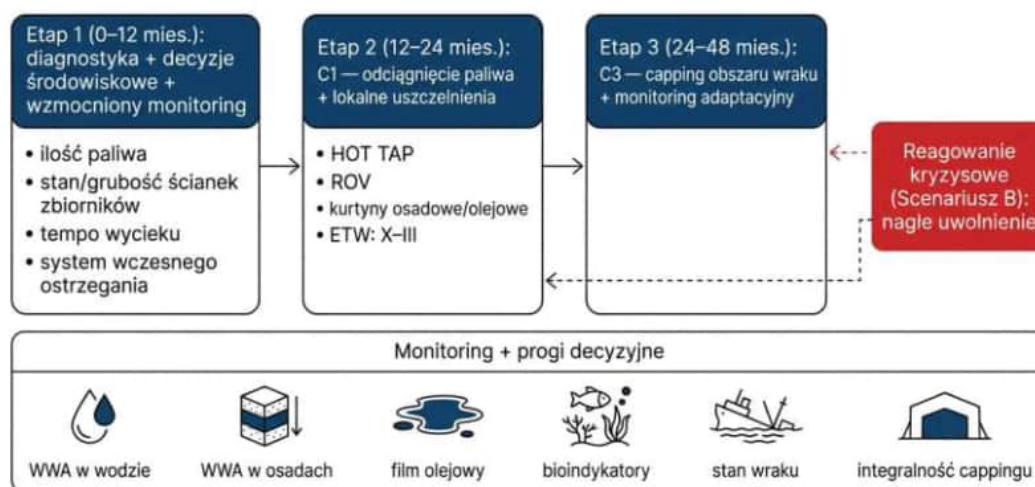
ETAP 2 (12-24 miesięcy): Ograniczona interwencja.

- Odciążenie paliwa ze zbiorników (wariant C1).
- Lokalne uszczelnienia punktów wycieku.
- Monitoring efektów.

ETAP 3 (24-48 miesięcy): Stabilizacja

- Capping obszaru wraku (wariant C3).
- Długoterminowy monitoring.
- Ewentualna korekta strategii na podstawie wyników.

Strategia zarządzania ryzykiem — WRAK S/S „Stuttgart”



Rysunek 26 Strategia zarządzania ryzykiem — WRAK S/S „Stuttgart” (etapy 1–3 + monitoring + reagowanie kryzysowe)

7.8.2 Uzasadnienie wyboru

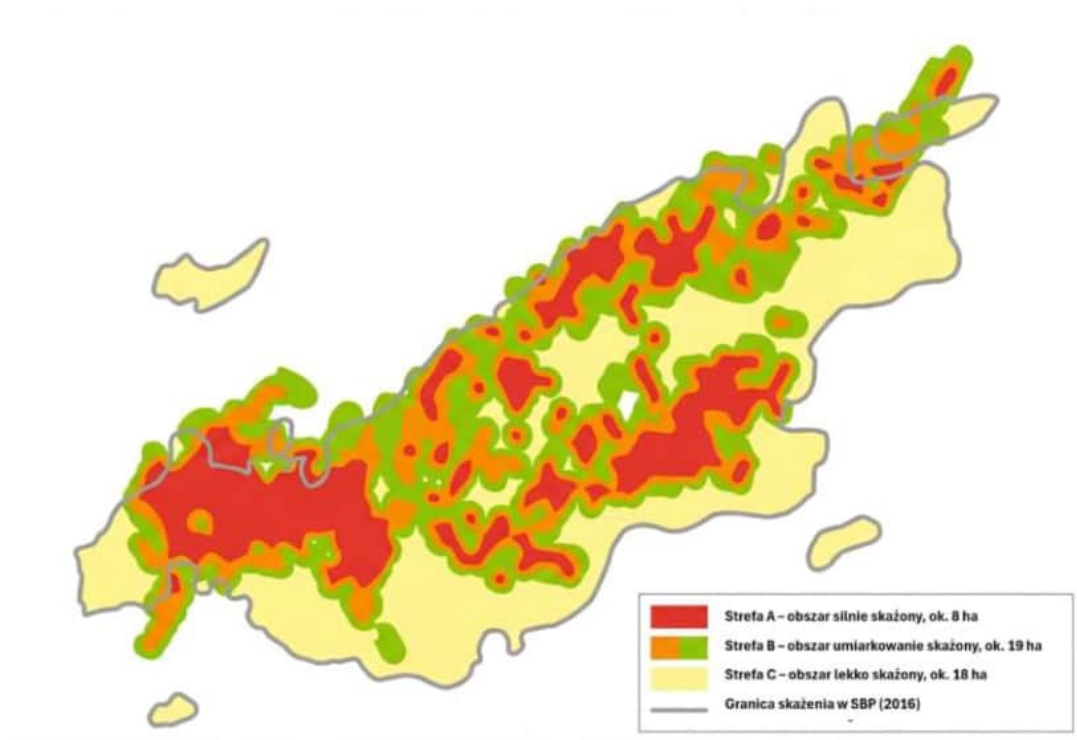
Tabela 72 Kryteria wyboru

Kryterium	Ocena dla zalecanego wariantu
Minimalizacja ryzyka środowiskowego	✓ Eliminacja źródła + izolacja
Zasada prewencji	✓ Działanie przed pogorszeniem sytuacji
Specyfika obszaru Natura 2000	✓ Zgodność z wymogami ochrony
Wykonalność techniczna	✓ Technologie dostępne (analogia: wrak U-864)
Proporcjonalność kosztów	✓ Etapowość pozwala na optymalizację

7.8.3 Konieczność współpracy instytucjonalnej

Tabela 73 Współpraca instytucjonalna

Instytucja	Rola
Urząd Morski	Koordinacja, pozwolenia, nadzór.
GDOŚ/RDOŚ	Decyzje środowiskowe, nadzór Natura 2000.
Instytut Morski / IO PAN	Badania naukowe, monitoring.
Marynarka Wojenna	Wsparcie operacyjne, bezpieczeństwo.
Operatorzy infrastruktury (FSRU)	Koordinacja działań.
HELCOM	Wsparcie międzynarodowe, wymiana doświadczeń.



Rysunek 28 Mapa wydzielenia obszarów o różnych poziomach skażeń według skali przyjętej do dalszego przetwarzania w ramach zakładanego działania w PNZ.

8.1.3 Pochodzenie skażenia

Źródło: Wrak S/S Stuttgart (jedyne udokumentowane źródło w tym obszarze).

Mechanizm rozprzestrzeniania:

1. Wyptyw grawitacyjny z uszkodzonych (otwartych) zbiorników wymuszony ciężarem osadów (piasku) osadzanego na wrak przez prądy – ruchem rumowiska.
2. Dyspersja przez prądy denne.
3. Adsorpcja na cząstkach osadu.
4. Akumulacja w zagłębieniach morfologicznych.

Skład zanieczyszczeń:

- Smoła pogazowa (coal tar) - główny składnik,
- Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA/PAH),
- Fenole,
- Metale ciężkie (związane z paliwem),
- Potencjalnie: BTEX (w mniejszych ilościach ze względu na lotność).

8.2 IDENTYFIKACJA ZAGROŻEŃ WYNIKAJĄCYCH ZE SKAŻENIA

8.2.1 Charakterystyka toksykologiczna paliwa ciężkiego

Tabela 76 Kluczowe związki i ich właściwości:

Grupa związków	Przykłady	Toksyczność	Trwałość	Bioakumulacja
WWA lekkie	Naftalen, acenaften	Ostra	Średnia (tygodnie-miesiące)	Niska
WWA ciężkie	Benzo(a)piren, piren	Chroniczna, rakotwórcza	Bardzo wysoka (dekady-stulecia)	WYSOKA
Fenole	Fenol, krezole	Ostra	Niska-średnia	Niska
Asfaleiny	Fracje ciężkie	Duszenie fizyczne	Bardzo wysoka	Minimalna

Szczególne zagrożenie - WWA (PAH):

- Benzo(a)piren - karcerogen kategorii 1, szczególnie trwałe w osadach anoksycznych,
- Biokoncentracja: Współczynniki BCF dla WWA ciężkich: 100-10 000,
- Biomagnifikacja: Wzrost stężeń w kolejnych poziomach troficznych.

8.2.2 Mechanizmy oddziaływania na środowisko

Tabela 77 Mechanizmy oddziaływania

Mechanizm	Opis	Receptory
Kontakt bezpośredni	Organizmy denne żyjące w/na skażonym osadzie	Benthos (robaki, małże, skorupiaki)
Ekspozycja przez wodę porowatą	Dyfuzja WWA do wody w przestrzeniach osadu	Infauna, ikra ryb
Ekspozycja przez wodę przydenną	Wymiana osad-woda, szczególnie w warstwie przydennej	Ryby denne, organizmy filtrujące
Resuspensja	Uwolnienie skażonych cząstek do kolumny wody	Całe środowisko pelagiczne
Łańcuch troficzny	Konsumpcja skażonych organizmów	Ryby → ptaki → ssaki (w tym człowiek)

8.2.3 Skutki dla poszczególnych grup organizmów

Tabela 78 Skutki oddziaływania na organizmy żywe

Grupa	Skutki ostre	Skutki chroniczne
Benthos	Śmiertelność przy wysokich stężeniach	Zaburzenia rozrodu, deformacje, spadek różnorodności
Ryby denne	Unikanie obszaru	Uszkodzenia wątroby, nowotwory, bioakumulacja
Ryby pelagiczne	Ograniczone	Bioakumulacja przez pokarm
Ptaki morskie	Zatrucie ostre przy kontakcie	Spadek sukcesu lęgowego
Ssaki morskie	Rzadkie	Immunosupresja, zaburzenia hormonalne

8.3 ANALIZA NARAŻENIA I RECEPTORÓW (SKALA 41,5 HA)

8.3.1 Funkcje ekosystemu obszaru

Tabela 79 Opis funkcji ekosystemu

Funkcja	Intensywność	Wrażliwość na skażenie
Tarlisko dorsza	ŚREDNIA (sezonowo)	BARDZO WYSOKA (ikra denną)
Tarlisko śledzia	ŚREDNIA	WYSOKA
Żerowisko ryb dennych	WYSOKA	WYSOKA
Siedlisko bentosu	BARDZO WYSOKA	KRYTYCZNA
Korytarz migracyjny	ŚREDNIA	ŚREDNIA

8.3.2 Powiązania hydrodynamiczne

Potencjalny transport zanieczyszczeń:

- Kierunek dominujący: NE (w głąb Zatoki Gdańskiej).
- Bariera naturalna: Wał ziemny ~300 m od granicy skażenia (ogranicza rozprzestrzenianie grawitacyjne).
- Transport zawieszinowy: Podczas sztormów możliwa remobilizacja i transport na dystans 1-10 km.
- Połączenie z Zatoką Pucką Wewnętrzną: Ograniczone (płytką rafa/mielizna).

8.3.3 Intensywność użytkowania

Tabela 80 Podział badanego obszaru pod kątem intensywności użytkowania

Aktywność	Intensywność	Ryzyko interferencji
Rybołówstwo dennie (trawlowanie)	NISKA	KRYTYCZNE (resuspensja)
Rybołówstwo stawne	ŚREDNIA	ŚREDNIE
Kotwiczowiska	NISKA	NISKIE
Żegluga	ŚREDNIA (trasy do Gdyni)	NISKIE
Planowane inwestycje (FSRU, kable)	WYSOKIE ZNACZENIE	WYMAGA KOORDYNACJI

8.4 SCENARIUSZE ROZWOJU SYTUACJI

8.4.1 Scenariusz I: Bezczynność (naturalne procesy)

Założenia: Brak interwencji, tylko naturalne procesy degradacji i sorpcji.

Tabela 81 Scenariusz - Bezczynność

Aspekt	Prognoza
Degradacja WWA	Bardzo powolna (WWA ciężkie okres naturalnego - półtrwania > 50 lat dla ciężkich WWA)
Rozprzestrzenianie	Powolna migracja NE, ryzyko resuspensji
Ekosystem	Trwała strefa martwa (dead zone) w centrum

Aspekt	Prognoza
Skutki środowiskowe	Utrzymanie chronicznej toksyczności przez stulecia
Ryzyko	Utrzymujące się na poziomie WYSOKIM
Skutki społeczno-ekonomiczne	Utrzymanie ograniczeń, potencjalne roszczenia

Ocena: ✗ **NIE DO PRZYJĘCIA** z punktu widzenia ochrony środowiska i przepisów UE

8.4.2 Scenariusz II: Łagodne ingerencje - Izolacja (Capping)

Zakres:

- Strefy ograniczeń dla rybołówstwa dennego.
- Zakaz trałowania na 45 ha.
- Wzmocniony monitoring.

Lokalne capping hotspotów (strefa A, ~ 8 ha)

Założenia: Przykrycie obszaru warstwą czystego piasku/żwiru.

Tabela 82 Scenariusz – łagodne interwencje

Aspekt	Prognoza
Ograniczenie rozprzestrzeniania	TAK (brak resuspensji antropogenicznej)
Redukcja ekspozycji	ŚREDNIA (izolacja najgorszych miejsc)
Koszty	UMIARKOWANE
Akceptowalność społeczna	ŚREDNIA (ograniczenia dla rybaków)

Ocena: ● **AKCEPTOWALNY** jako wariant minimalny lub przejściowy

8.4.3 Scenariusz III: Intensywna remediacja

Podwarianty:

III.A: Dredging (usuwanie osadów)

Tabela 83 Scenariusz A – usuwanie osadów

Parametr	Wartość
Zakres	Strefa A + B (~20 ha, grubość 0,3-0,5 m)
Objętość osadów	~60 000 - 100 000 m ³
Ryzyko wtórne	WYSOKIE (resuspensja podczas prac)
Skuteczność	BARDZO WYSOKA (usunięcie źródła)
Koszty	BARDZO WYSOKIE
Utylizacja	Odwadnianie, składowanie jako odpad niebezpieczny

Ocena: ✗ **NIE DO PRZYJĘCIA** z punktu widzenia ochrony środowiska

NOTA OBJAŚNIAJĄCA: ROLA KURTYN OSADOWYCH I ŚRODKÓW MITYGACYJNYCH

W kontekście analizy wariantów remediacji dla wraku Stuttgart należy podkreślić, że:

1. **Wariant pełnego pogłębiania (dredgingu) osadów skażonych** został oceniony jako **NIE DO PRZYJĘCIA** ze względów środowiskowych, w szczególności:
 - ryzyko wtórnej resuspensji zanieczyszczeń na dużą skalę,
 - destrukcyjny wpływ na ekosystem dna morskiego w obszarze Natura 2000,
 - długi czas odbudowy biocenozy bentoowej,
 - wysokie ryzyko rozprzestrzenienia skażenia poza obszar pierwotny.
2. **Rekomendowany wariant** to rozwiązania **mniej inwazyjne**: capping (izolacja in situ) lub warianty hybrydowe (capping z selektywnym usuwaniem hot-spotów).

3. Środki typu kurtyny osadowe, bariery sorpcyjne, systemy Emergency Towing są opisane w PNZ jako:

- środki **mitygacyjne (pomocnicze)** dla wariantów wymagających częściowego dredgingu (np. hot-spoty w wariacie hybrydowym),
- narzędzia **awaryjne** na wypadek nieprzewidzianego uwolnienia zanieczyszczeń,
- elementy **ograniczania rozprzestrzenienia** podczas prac o charakterze inwazyjnym.

Nie są one planowane jako główne narzędzie remediacji ani jako "bariera kontrolująca" wycieki z wraku w dłuższej perspektywie.

1. Dla rekomendowanego wariantu (capping) potrzeba stosowania kurtyn osadowych jest **minimalna** i ogranicza się do:

- fazy przygotowania powierzchni dna przed nałożeniem warstwy izolacyjnej (jeśli wymagane jest wyrównanie/oczyszczenie),
- zabezpieczenia podczas prac ROV/nurkowych przy wraku (defueling).

Powyższe wyjaśnienie ma na celu uniknięcie błędnej interpretacji, że kurtyny osadowe stanowią kluczowy element strategii remediacji. Strategia opiera się na **izolacji in situ** z minimalną ingerencją w osady dennie.

III.B: Capping (przykrycie) warstwą piasku (0,3 – 0,5 m)

Tabela 84 Scenariusz B -przykrywanie warstwą piasku

Parametr	Wartość
Zakres	Cały obszar 41,5 ha
Materiał	Piasek czysty, warstwa 0,3-0,5 m
Objętość materiału	~135 000 - 225 000 m ³
Ryzyko wtórne	NISKIE-ŚREDNIE
Skuteczność	WYSOKA (izolacja od biosfery)
Koszty	WYSOKIE
Trwałość	Wymaga monitoringu integralności

Ocena:  **AKCEPTOWALNY** jako wariant minimalny lub przejściowy

Analogia: Wrak U-864 (Norwegia) - zastosowano capping jako metodę izolacji skażenia rtęcią.

III C Bioremediacja (Capping – przykrycie warstwą aktywnych minerałów o gr. 0,05-0,1 m)

Zakres:

- Strefy ograniczeń dla rybołówstwa dennego,
- Zakaz trałowania na 45 ha,
- Wzmocniony monitoring.

Lokalne capping wybranymi minerałami na obszarach A+B+C (8+19+18ha).

Założenia: Przykrycie obszaru warstwą minerałów tworzących mikrośrodowisko stanowiące sztuczną rafę dla lokalnych bakterii.

Tabela 85 Scenariusz C – przykrycie warstwą aktywnych minerałów

Parametr	Wartość
Zakres	Strefa A + B (~20 ha, grubość 0,05-0,1 m) Strefa C (25 ha, grubość 0,05 m)
Objętość użytych minerałów	A+B ~10 000- 20 000 m ³ C~ 12 500 m ³
Ryzyko wtórne	NISKIE (niska resuspensja podczas prac)
Skuteczność	BARDZO WYSOKA (trwałe odcięcie od źródła)
Koszty	WYSOKIE

Ocena:  **ZAŁECANY** jako wariant najmniej ingerujący w środowisko

Doprecyzowanie: Mechanizmy działania aktywnych materiałów w cappingu

Aktywne materiały stosowane w technologii cappingu (np. węgiel aktywowany, zeolity, organoclay, piasek pokryty tlenkami żelaza) działają poprzez **wiązanie, sorpcję i immobilizację** zanieczyszczeń, a nie ich degradację biologiczną. Kluczowe mechanizmy obejmują:

Sorpcja powierzchniowa:

- Zanieczyszczenia (np. WWA, metale ciężkie) wiążą się z powierzchnią aktywnego materiału,
- Efekt: obniżenie stężenia w wodzie porowej i redukcja strumienia (flux) do toni wodnej,
- Skuteczność: wysoka dla związków hydrofobowych (WWA), zmienna dla metali (zależna od pH, Eh).

Redukcja biodostępności:

- Związane zanieczyszczenia są niedostępne dla organizmów bentosowych (nie wchodzi do łańcucha pokarmowego),
- Efekt: obniżenie ryzyka ekotoksycznego bez fizycznego usunięcia zanieczyszczeń,
- Skuteczność: wysoka w krótkim/średnim terminie (1-10 lat), wymaga monitoringu w długim terminie.

Obcięcie strumienia migracji (flux reduction):

- Aktywny cap działa jak bariera dla migracji zanieczyszczeń z głębszych warstw osadu do wody,
- Efekt: ograniczenie rozprzestrzenienia zanieczyszczeń,
- Skuteczność: bardzo wysoka przy prawidłowym zaprojektowaniu i stabilności warstwy.

4. Stabilizacja osadu:

- Warstwa cappingu (wraz z materiałami aktywnymi) stabilizuje osad mechanicznie, ograniczając resuspensję.
- Efekt: redukcja wtórnego uwolnienia zanieczyszczeń przy sztormach/działalności antropogenicznej.

Bioremediacja jako proces długoterminowy:

Bioremediacja (degradacja biologiczna zanieczyszczeń przez mikroorganizmy) **nie jest** głównym mechanizmem skuteczności aktywnego cappingu w krótkim/średnim terminie. W warunkach Morza Bałtyckiego (niska temperatura 4-15°C, zmienne warunki redox, sezonowa anoksja) biodegradacja WWA przebiega bardzo wolno:

- Połowa czasu degradacji (half-life) dla WWA w osadach anoksykacyjnych: **10-50 lat** (literatura: Aeppli et al., 2012; McElroy et al., 2000),
- Pełna degradacja ciężkich WWA (np. benzo[a]piren): **20-100 lat**,

Implikacje dla oceny skuteczności:

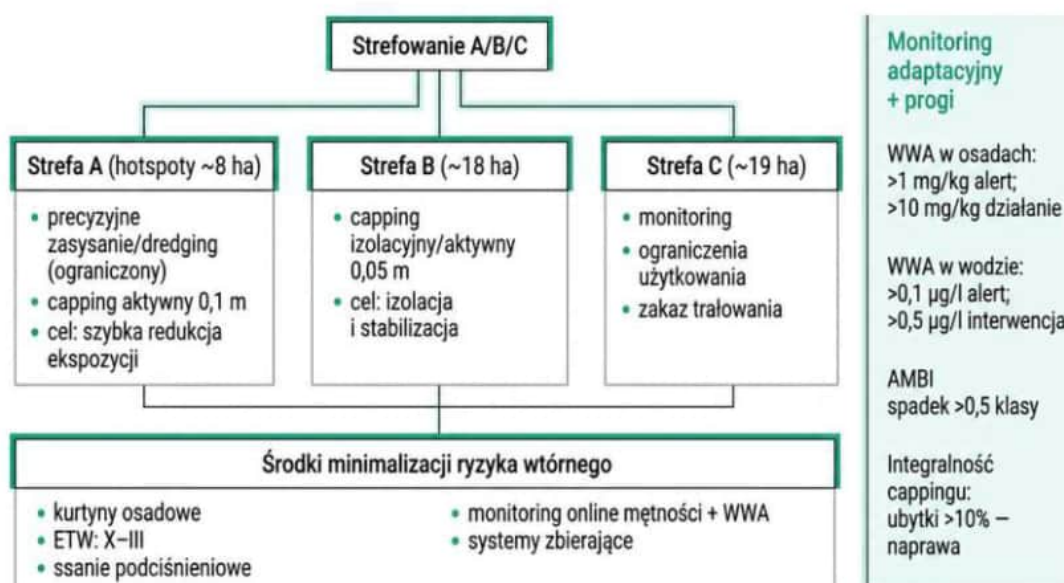
Ocena skuteczności wariantu III.C (capping z aktywnymi materiałami) jako **“BARDZO WYSOKA”** odnosi się do **krótko/średnioterminowego efektu** (1-10 lat):

- Szybka (1-3 lata) redukcja biodostępności i strumienia zanieczyszczeń,
- Efektywna izolacja źródła zanieczyszczeń.

Nie oznacza to jednak “usunięcia” zanieczyszczeń – pozostają one w osadach pod warstwą cappingu. W długim terminie (10-30 lat) część może ulec biodegradacji, ale to proces o dużej niepewności.

Konsekwencje dla zarządzania:

- Konieczny monitoring długoterminowy integralności cappingu (ryzyko: erozja, osunięcie, działalność)
- antropogeniczna)
- Konieczny monitoring biodostępności (pomiar WWA w biocie, osadach powierzchniowych)
- Wariant capping nie zwalnia z obowiązku kontroli ryzyka resztkowego

III.D: PODEJŚCIE HYBRYDOWE (Strefowanie A,B,C)
Strategia zarządzania ryzykiem – OBSZAR SKAŻONY 45 ha


Rysunek 29 Strategia zarządzania ryzykiem — OBSZAR SKAŻONY 41,5 ha (strefowanie A/B/C + środki minimalizacji ryzyka wtórnego + monitoring/progi)

III. D -A: Podejście hybrydowe I – z użyciem narzutu z aktywnych minerałów (REKOMENDOWANE)

Zakres:

1. Strefa A (hotspoty, ~8 ha): Precyzyjny dredging lub zasysanie osadów, następnie capping aktywnymi minerałami warstwą 0,1 m.
2. Strefa B (~19 ha): Capping aktywną warstwą izolacyjną 0,05 m.
3. Strefa C (~18 ha): Monitoring + ograniczenia użytkowania.

Tabela 86 Wariant D-A – podejście hybrydowe

Aspekt	Ocena
Optymalizacja kosztów	TAK
Minimalizacja ryzyka wtórnego	TAK (ograniczony dredging)
Skuteczność	WYSOKA
Elastyczność	TAK (etapowość, adaptacja)

Ocena:  **ZAŁECANY** jako wariant najmniej ingerujący w środowisko

III.D-B : Podejście hybrydowe II z użyciem piasku/gruntu wydobytego z dna (REKOMENDOWANE)

Zakres:

1. Strefa A (hotspoty, ~8 ha): Precyzyjny dredging lub zasysanie osadów.
2. Strefa B (~19 ha): Capping warstwą izolacyjną.
3. Strefa C (~18 ha): Monitoring + ograniczenia użytkowania.

Tabela 87 Wariant D-B – podejście hybrydowe

Aspekt	Ocena
Optymalizacja kosztów	TAK
Minimalizacja ryzyka wtórnego	TAK (ograniczony dredging)
Skuteczność	WYSOKA
Elastyczność	TAK (etapowość, adaptacja)

Ocena:  **ZAŁECANY** jako wariant słabo ingerujący w środowisko, niskokosztowy ale nie rozwiązujący problemu długoterminowo.

8.4.4 OCENA RYZYKA DLA 41,5 HA

8.4.4.1 Macierz ryzyka według receptorów

Tabela 88 Macierz ryzyka

Receptor	Prawdo-podobieństwo	Skutki	RYZYKO	Priorytet
Ekosystem denny	3	3	9 (WYSOKIE)	
Łańcuch troficzny	3	3	9 (WYSOKIE)	
Tarliska ryb	2	3	6 (POD-WYŻSZONE)	
Rybołówstwo	3	2	6 (POD-WYŻSZONE)	
Konsumenci ryb	2	2	4 (ŚREDNIE)	
Infrastruktura (FSRU, kable)	1	2	2 (NISKIE)	

8.4.4.2 Hotspoty - priorytety działań

Kryteria identyfikacji hotspotów:

- Stężenie WWA > 10 mg/kg s.m.
- Obecność „jeziorek” cieczy węglowej.
- Bezpośrednie sąsiedztwo wraku.

Szacunkowa lokalizacja: Strefa A (~8 ha) bezpośrednio przy wraku i w kierunku zgodnym z dominującym gradientem zwiększania się głębokości (NE).

8.5 ZARZĄDZANIE RYZYKIEM - WARIANTY DLA 41,5 HA

Macierz ryzyka – OBSZAR SKAŻONY 41,5 ha (priorytety receptorów)

$$R = P \times S; P(1-3), S(1-4)$$

		S=1 NIEWIELKIE	S=2 UMIARKOWANE	S=3 POWAŻNE	S=4 KATASTROFALNE	Poziom ryzyka 1-2 NISKIE 3-4 ŚREDNIE 5 PODWYŻSZONE 6 WYSOKIE 7-12 WYSOKIE/KRYTYCZNE
		R = 3×1	R = 3×2	R = 3×3	R = 3×4	
PRAWDOPODOBIENSTWO (P) P=3 WYSOKIE (częste/ciągle) P=2 ŚREDNIE (okresowe) P=1 NISKIE (rzadkie)		3	6	9 ● Ekosystem dennej (bentos) – R=9 ● Łańcuch troficzny (bioakumulacja) – R=9	12	
		R = 2×1 2	R = 2×2 4 ● Rybołówstwo przydenne (narzędzia) – R=4 ● Konsumenty ryb – R=4	R = 2×3 6 ● Ryby denne / filtratory – R=6	R = 2×4 8	
		R = 1×1 1	R = 1×2 2 ● Turystyka/plaże (epizody) – R=2	R = 1×3 3	R = 1×4 4	
		SKUTKI (S)				

Założenie dla obszaru 41,5 ha

- Dominują ekspozycje denne i w wodzie porowej
- Reakcja ma charakter okresowy
- Skutki oceniane głównie przez wpływ na siedliska i biotę

Macierz pomocnicza do priorytetyzacji – wartości R przykładowe; do kalibracji po danych z monitoringu (WWA, AMBI, tkanki).

Rysunek 30 Macierz ryzyka dla obszaru skażonego 41,5 ha z naniesionymi priorytetami receptorów, w tym:

- Ekosystem dennej (bentos) — R=9 (P=3, S=3),
- Łańcuch troficzny (bioakumulacja) — R=9 (P=3, S=3),
- Ryby denne / filtratory — R=6 (P=2, S=3),
- Rybołówstwo przydenne — R=4 (P=2, S=2),
- Konsumenty ryb — R=4 (P=2, S=2),
- Turystyka/plaże — R=2 (P=1, S=2).

Tabela 89 Porównanie wariantów

Kryterium	Pozostawienie + monitoring	Capping	Dredging	Hybrydowe
Skuteczność długoterminowa	NISKA	WYSOKA	BARDZO WYSOKA	WYSOKA
Ryzyko wtórne	BRAK	NISKIE	WYSOKIE	ŚREDNIE
Koszty (szacunkowo)	5-10 mln PLN	50-100 mln PLN	200-400 mln PLN	80-150 mln PLN
Czas realizacji	-	2-3 lata	5-7 lat	3-5 lat
Akceptowalność środowiskowa	NISKA	WYSOKA	ŚREDNIA	WYSOKA
Zgodność z Naturą 2000	⚠️ WĄTPLIWA	✅ TAK	✅ TAK (z warunkami)	✅ TAK

8.5.1 Środki minimalizacji ryzyka wtórnego

Tabela 90 Minimalizacja ryzyka dla wariantu z dredgingiem:

Środek	Opis
Kurtyny osadowe	Izolacja strefy prac od otwartych wód
ETW (Environmental Time Windows)	Prace X-III (poza sezonem rozrodu)

Środek	Opis
Ssanie podciśnieniowe	Minimalizacja turbulencji vs. czepak
Monitoring online	Ciągły pomiar mętności i WWA
Systemy zbierające	Natychmiastowe usuwanie uwolnionych zanieczyszczeń

8.5.2 Koszty środowiskowe, społeczne i ekonomiczne

Tabela 91 Zestawienie kosztów środowiskowych, społecznych i ekonomicznych

Wariant	Koszty środowiskowe	Koszty społeczne	Koszty ekonomiczne
Status quo	BARDZO WYSOKIE (długoterminowe)	ŚREDNIE (ograniczenia)	NISKIE (bezpośrednie) / WYSOKIE (pośrednie)
Capping	NISKIE (krótkoterminowe)	NISKIE	WYSOKIE
Dredging	ŚREDNIE (krótkoterminowe) / NISKIE (długoterminowe)	ŚREDNIE	BARDZO WYSOKIE
Hybrydowe	NISKIE-ŚREDNIE	NISKIE	WYSOKIE

8.6 SYSTEM MONITORINGU I ADAPTACYJNEGO ZARZĄDZANIA

8.6.1 Program monitoringu dla 41,5 ha

Tabela 92 Parametry i częstotliwość:

Parametr	Metoda	Częstotliwość	Próg decyzyjny
WWA w osadach (16 EPA PAH)	GC-MS	Kwartalna	>1 mg/kg: alert; >10 mg/kg: działanie
WWA w wodzie	HPLC-FLD	Miesięczna	>0,1 µg/l: alert
Metale ciężkie	ICP-MS	Półroczna	Przekroczenie norm jakości
TOC w osadach	Analiza elementarna	Półroczna	Informacyjnie
Makrobentos	Pobór próbek, identyfikacja	Roczna	Spadek indeksu AMBI
WWA w organizmach (matze)	GC-MS	Półroczna	>100 ng/g lipidów
Integralność cappingu	Sonar, profilowanie	Roczna	Ubytki >10% grubości

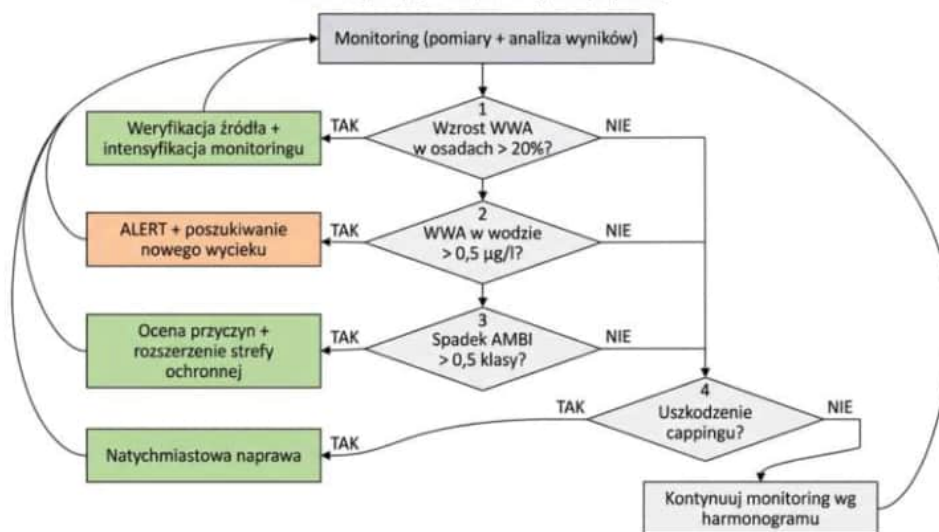
8.6.2 Podejście adaptacyjne

Tabela 93 Progi decyzyjne:

Sygnat	Działanie
Wzrost WWA w osadach >20%	Weryfikacja źródła, intensyfikacja monitoringu
WWA w wodzie >0,5 µg/l	Alert, poszukiwanie nowego wycieku
Spadek AMBI >0,5 klasy	Ocena przyczyn, rozszerzenie strefy ochronnej
Uszkodzenie cappingu	Natychmiastowa naprawa

SCHEMAT DECYZYJNY – PODEJŚCIE ADAPTACYJNE

W każdej decyzji: TAK po lewej, NIE po prawej



Rysunek 31 Schemat decyzyjny:

8.6.3 Procedury operacyjne monitoringu adaptacyjnego

System monitoringu adaptacyjnego opisany w niniejszym PNZ opiera się na zasadzie zarządzania progami alarmowymi i reakcji operacyjnych proporcjonalnych do poziomu zagrożenia. Poniżej przedstawiono kluczowe procedury operacyjne niezbędne do skutecznego wdrożenia monitoringu.

Czas reakcji i procedury stop-work

W przypadku przekroczenia progów alarmowych przewidzianych w systemie monitoringu, obowiązują następujące ramy czasowe reakcji:

- **Próg I (ostrzegawczy):** Zwiększenie częstotliwości monitoringu + powiadomienie koordynatora środowiskowego + ocena przyczyn w ciągu **24 godzin**. Prace mogą być kontynuowane z zachowaniem podwyższonej czujności.
- **Próg II (interwencyjny):** Natychmiastowe (**do 2 godzin**) wstrzymanie prac w strefie, w której stwierdzono przekroczenie + spotkanie zespołu kryzysowego + analiza przyczyn i opracowanie działań korygujących w ciągu **48 godzin**. Wznowienie prac wymaga zgody koordynatora środowiskowego i kierownika projektu.
- **Próg III (krytyczny):** **Natychmiastowe** (do 30 min) wstrzymanie wszystkich prac w rejonie wraku + powiadomienie władz nadzorujących (RDOŚ, WIOŚ, Urząd Morski) + aktywacja planu awaryjnego. Wznowienie prac wymaga pozytywnej decyzji koordynatora środowiskowego, akceptacji nadzoru inwestorskiego oraz informowania organów nadzorujących.

Uprawnienia do wstrzymania prac:

- Koordynator środowiskowy projektu – pełne uprawnienie do wstrzymania prac na każdym etapie.
- Kierownik projektu – w porozumieniu z koordynatorem środowiskowym.
- Przedstawiciel nadzoru inwestorskiego – w przypadku stwierdzenia rażącego naruszenia procedur.

- Organy nadzorujące (RDOŚ, WIOŚ) – w przypadku kontroli i stwierdzenia zagrożenia.

Kryteria wznowienia prac:

1. Udokumentowana identyfikacja przyczyn przekroczenia progów.
2. Wdrożenie działań korygujących i/lub modyfikacja metody pracy.
3. Potwierdzenie laboratoryjne powrotu parametrów do wartości poniżej progów (dla Progu II i III).
4. Aktualizacja oceny ryzyka i procedur operacyjnych (jeśli wymagana).
5. Pisemna zgoda koordynatora środowiskowego.
6. Dla Progu III: dodatkowo zgoda nadzoru inwestorskiego i poinformowanie organów nadzorujących.

Niepewność pomiarowa i weryfikacja wyników

Każdy wynik pomiarowy wykorzystywany w systemie monitoringu adaptacyjnego obciążony jest niepewnością wynikającą z:

- metody analitycznej (błędy analityczne laboratorium)
- poboru próbek (zmiennność przestrzenna, reprezentatywność próby)
- warunków środowiskowych (zmiennność czasowa)

Zasady obsługi niepewności:

- Wszystkie laboratoria wykonujące analizy muszą posiadać akredytację i podawać rozszerzoną niepewność pomiarową ($k=2$, 95% przedział ufności).
- Próg alarmowy uznaje się za przekroczony tylko wtedy, gdy: **wynik – niepewność > wartość progowa** (podejście konserwatywne).
- W przypadku wątpliwości co do wiarygodności wyniku (np. wynik bliski progowi, duża niepewność, podejrzenie zanieczyszczenia próbki) – wykonanie pomiaru weryfikacyjnego z niezależnej próby w ciągu **12-24 godzin**.

Fałszywe alarmy – procedura weryfikacji:

System przewiduje możliwość wystąpienia fałszywych alarmów (false positives) wynikających z:

- zanieczyszczenia próbki podczas poboru,
- błędów laboratoryjnych,
- lokalnych, naturalnych anomalii (np. biogenne uwolnienie WWA),
- interferencji z innymi źródłami zanieczyszczeń (ruch statków, działalność portowa).

Procedura weryfikacji podejrzenia fałszywego alarmu:

1. Natychmiastowy powtórny pomiar z nowej próby (w ciągu 6-12h) – z zachowaniem wzmożonych procedur kontroli jakości poboru.
2. Analiza kontekstu: czy inne parametry również wskazują na problem? (np. tylko WWA w wodzie, ale nie w osadach → podejrzenie interferencji).
3. Porównanie z danymi historycznymi z tego samego punktu.
4. Weryfikacja przestrzenna: pomiar w punktach kontrolnych (tło, upstream, downstream).
5. Jeśli powtórny pomiar i analiza kontekstu wskazują na fałszywy alarm – odwołanie alarmu i kontynuacja prac, ale z adnotacją w rejestrze zdarzeń.
6. Jeśli powtórny pomiar potwierdza przekroczenie – traktowanie jako rzeczywisty alarm.

Rejestr zdarzeń i raportowanie:

Wszystkie zdarzenia związane z przekroczeniem progów (rzeczywiste i fałszywe alarmy), wstrzymanymi pracami, działaniami korygującymi oraz wznowieniami prac muszą być dokumentowane w

Rejestrze zdarzeń środowiskowych projektu. Rejestr ten podlega:

- bieżącej aktualizacji (w czasie rzeczywistym)
- przeglądowi cotygodniowemu przez koordynatora środowiskowego
- analizie kwartalnej przez zespół projektowy
- udostępnieniu organom nadzorującym na żądanie

8.7 WNIOSKI KOŃCOWE I REKOMENDACJE

8.7.1 Podsumowanie zagrożeń i poziomów ryzyka

Tabela 94 Podsumowanie zagrożeń

Element	Poziom ryzyka	Główne zagrożenie	Trend
Wrak Stuttgart (po demolicji)	● WYSOKIE	Kontynuacja chronicznych wycieków, potencjał nagłego uwolnienia	↗ Narastający
41,5 ha skażonego dna	● WYSOKIE	Trwałe skażenie WWA, bioakumulacja, degradacja siedlisk	→ Stabilny wysoki

8.7.2 Priorytety działań

PILNE (0-12 miesięcy):

- Uzupelnienie danych o stanie zbiorników wraku i zawartości paliwa
- Wdrożenie wzmocnionego monitoringu
- Ustanowienie strefy ograniczeń dla trawlowania dennego
- Opracowanie dokumentacji środowiskowej (Karta Informacyjna Przedsięwzięcia)

ŚREDNIOTERMINOWE (1-3 lata):

- Realizacja odciążenia paliwa ze zbiorników wraku
- Capping hotspotów (strefa A, ~8 ha)
- Uzyskanie decyzji środowiskowych dla pełnej remediacji

DŁUGOTERMINOWE (3-10 lat):

- Realizacja cappingu strefy B (~19 ha)
- Długoterminowy monitoring adaptacyjny
- Ewentualna rewizja strategii na podstawie wyników

8.7.3 Rekomendacje dla instytucji

Tabela 95 Rekomendacje dla administracji morskiej i środowiskowej:

Rekomendacja	Uzasadnienie
Natychmiastowe wprowadzenie strefy ograniczeń	Zapobieżenie resuspensji przez trawlowanie
Finansowanie badań diagnostycznych	Uzupełnienie krytycznych luk w danych
Koordinacja międzyinstytucjonalna	Utworzenie zespołu zadaniowego

Zgłoszenie do HELCOM	Włączenie w regionalne programy oczyszczania wraków
----------------------	---

Tabela 96 Rekomendacje dla potencjalnych inwestorów w regionie (FSRU, infrastruktura):

Rekomendacja	Uzasadnienie
Uwzględnienie obszaru skażenia w planowaniu tras	Unikanie interferencji z obszarem 41,5 ha
Konsultacje z Urzędem Morskim	Koordynacja z planowanymi działaniami remedacyjnymi
Dodatkowe badania przed inwestycją	Weryfikacja zasięgu skażenia w rejonie planowanych prac

Tabela 97 Rekomendacje dla służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo i zarządzanie kryzysowe:

Rekomendacja	Uzasadnienie
Plan reagowania na nagłe uwolnienie	Gotowość na scenariusz B (nagły wyciek)
Włączenie do systemu wczesnego ostrzegania	Detekcja zwiększonych wycieków
Szkolenia dla służb ratowniczych	Specyfika reagowania na zanieczyszczenie WWA
Koordynacja z SAR i służbami ochrony wybrzeża	Zintegrowane działania w sytuacji kryzysowej

8.8 Zapewnienie ciągłości monitoringu długoterminowego – mechanizmy finansowania i odpowiedzialności

Realizacja założeń niniejszego PNZ, w szczególności w zakresie monitoringu długoterminowego (horyzont 3-30 lat w zależności od wybranego wariantu remedacji), wymaga ustanowienia mechanizmów zapewniających:

- ciągłość finansowania,
- stabilność instytucjonalną,
- transparentność i rozliczalność.

Ryzyko „zmęczenia monitoringiem”

Doświadczenia międzynarodowe wskazują na zjawisko tzw. „monitoring fatigue” (zmęczenia monitoringiem), polegające na spadku zaangażowania i jakości monitoringu w miarę upływu czasu, zwłaszcza gdy:

- nie występują spektakularne zdarzenia (wycieki, awarie),
- projekt przestaje być priorytetem politycznym/medialnym,
- wyczerpują się budżety źródłowe (np. finansowanie projektowe),
- następuje rotacja kadr i utrata wiedzy instytucjonalnej.

Aby zminimalizować to ryzyko, konieczne jest wdrożenie mechanizmów strukturalnych opisanych poniżej.

8.8.1 Mechanizm 1: Fundusz celowy monitoringu długoterminowego

Propozycja ustanowienia **Funduszu Monitoringu Wraków Zagrożających Środowisku Bałtyku** (nazwa robocza) jako mechanizmu finansowego dedykowanego długoterminowej obserwacji i działaniom awaryjnym związanym z wrakami na polskich obszarach morskich.

Parametry funduszu:

Źródła zasilania:

- Środki KPO (alokacja na monitoring długoterminowy jako osobna linia budżetowa projektu),
- Środki Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW),
- Budżet państwa – linia subwencyjna dla Urzędu Morskiego w Gdyni,
- Ewentualne środki unijne (np. LIFE, fundusze regionalne Bałtyku),
- Opłaty środowiskowe od sektora offshore (morska energetyka wiatrowa, wydobywanie surowców).

Zarządzanie funduszem:

- Administrator: Urząd Morski w Gdyni (jako organ odpowiedzialny za bezpieczeństwo nawigacji i ochronę środowiska morskiego),
- Nadzór: Międzyresortowy Zespół do spraw Materiałów Niebezpiecznych Zalegających na Obszarach Morskich,
- Audyt: Coroczny audyt zewnętrzny + raport dla Sejmu RP.

Przeznaczenie środków:

- Realizacja monitoringu zgodnie z planem (analizy laboratoryjne, rejsy badawcze, utrzymanie infrastruktury)
- Działania awaryjne w przypadku aktywacji alarmu środowiskowego
- Badania i rozwój metod remediacji (adaptacja planu w świetle nowych danych)
- Komunikacja i zaangażowanie interesariuszy

Horyzont:

- Fundusz powinien być zasilany do poziomu zapewniającego co najmniej **10-letni monitoring bez dodatkowych wpłat** (kapitał żelazny),
- Docelowo: system zasilania bieżącego (corocznie) z budżetu państwa/NFOŚiGW.

Szacunkowa potrzeba finansowa (orientacyjnie):

- Monitoring podstawowy (rok 1-5): ~200-500 tys. EUR/rok,
- Monitoring zredukowany (rok 6-10): ~100-200 tys. EUR/rok,
- Monitoring minimalny (rok 11-30): ~50-100 tys. EUR/rok,
- Rezerwa na działania awaryjne: ~500 tys. EUR (kapitał zapasowy).

Łączna potrzeba kapitału początkowego: ~3-5 mln EUR (dla 10-letniego horyzontu zabezpieczonego).

8.8.2 Mechanizm 2: Umocowanie odpowiedzialności instytucjonalnej

Należy formalnie wyznaczyć **instytucję odpowiedzialną za długoterminowy monitoring** oraz określić jej mandaty i zasoby. Propozycja:

Instytucja wiodąca: Urząd Morski w Gdyni (UM Gdynia) – jako organ odpowiedzialny za bezpieczeństwo nawigacji, ochronę środowiska morskiego i koordynację działań na obszarach morskich RP.

Mandaty i obowiązki:

- Koordynacja realizacji monitoringu (zlecanie badań, odbiór raportów),
- Zarządzanie danymi (prowadzenie repozytorium danych środowiskowych),
- Reagowanie na alarmy środowiskowe (aktywacja działań awaryjnych),
- Raportowanie do organów nadzorujących (RDOŚ, WIOŚ, HELCOM, Ministerstwo),
- Komunikacja z interesariuszami.

Wsparcie instytucjonalne:

- Instytuty badawcze (np. Instytut Oceanologii PAN, Instytut Morski w Gdańsku, Instytut Maszyn Przepływowych PAN) – realizacja badań,
- WIOŚ Gdańsk – nadzór nad jakością środowiska,
- RDOŚ Gdańsk – nadzór nad obszarami Natura 2000,
- Międzyresortowy Zespół – nadzór strategiczny.

Ciągłość kadrowa:

- Utworzenie w UM Gdynia dedykowanego stanowiska/zespołu ds. monitoringu wraków zagrożających (etat stały, nie projektowy),
- Procedury przekazania wiedzy przy rotacji kadr (dokumentacja, szkolenia).

8.8.3 Mechanizm 3: Exit strategy – warunki zakończenia/redukcji monitoringu

Aby uniknąć “monitoringu w nieskończoność”, należy zdefiniować **warunki, przy których monitoring może być zakończony lub istotnie zredukowany**:

Kryteria sukcesu (exit criteria):**Stabilizacja środowiska:**

- Brak przekroczeń progów alarmowych przez co najmniej 3 kolejne lata,
- Stężenia WWA, metali ciężkich i innych wskaźników zanieczyszczenia poniżej wartości tła dla Zatoki Gdańskiej,
- Odbudowa biocenozy bentosowej do stanu referencyjnego (np. AMBI < 2,0).

Integralność zabezpieczenia (capping):

- Brak zmian w morfologii/integralności warstwy izolacyjnej (np. monitoring echosondami wielowiązkowym),
- Pomiar strumienia zanieczyszczeń z warstwy (flux) poniżej progu detekcji.

Stabilność wraku:

- Brak dalszej degradacji konstrukcji wraku (monitoring wizyjny ROV),
- Brak uwolnienia nowych źródeł paliwa.

Ocena ryzyka resztkowego:

- Ryzyko resztkowe dla środowiska i ludzi ocenione jako NISKIE i AKCEPTOWALNE w ramach ALARP,
- Pozytywna opinia niezależnego audytora środowiskowego.

Procedura decyzyjna:

- o spełnieniu kryteriów sukcesu przez okres 3 lat → sporządzenie raportu końcowego,
- Konsultacje z RDOŚ, WIOŚ, Międzyresortowym Zespołem,
- Decyzja o:
 - zakończeniu monitoringu,
 - przejściu na monitoring zredukowany (np. co 2-3 lata monitoring kontrolny),
 - utrzymaniu monitoringu w dotychczasowej formie (jeśli kryteria nie spełnione),

8.8.4 Mechanizm 4: Transparentność i rozliczalność

Dla utrzymania zaufania społecznego i rozliczalności instytucjonalnej:

1. Raporty publiczne:

- Roczne raporty z monitoringu publikowane na stronie UM Gdynia i w BIP,



- Dostęp do danych surowych w repozytorium (z uwzględnieniem ochrony danych wrażliwych).

2. Audyty niezależne:

- Co 3 lata – audyt niezależnego eksperta/instytucji oceniający skuteczność monitoringu i zasadność kontynuacji.

3. Konsultacje społeczne:

- Coroczne spotkanie z interesariuszami (np. NGO, rybacy, sektor offshore) – prezentacja wyników i dialog.

9 Udział Interesariuszy w PNZ dla wraku Stuttgart

Wstępna charakterystyka interesariuszy.
Główni interesariusze i ich obszar zainteresowania.
Inni interesariusze i ich obszar zainteresowania.
Mapa interesariuszy, plan ich zaangażowania oraz możliwe konflikty interesariuszy.
Szczegółowy wykaz interesariuszy, ich zadania oraz potencjalne konflikty szeroko opisano w ZAŁĄCZNIK NR 7 – Interesariusze.

Wstępna charakterystyka obejmuje identyfikację zainteresowanych podmiotów w obrębie Zatoki Gdańskiej, ich motywacje, zakres zaangażowania, oczekiwane rezultaty oraz obszary niepewności związane z projektem oczyszczania wraków S/S „Stuttgart”.

9.1 Interesariusze w obrębie Zatoki Gdańskiej

1. W oczyszczaniu wraków S/S „Stuttgart” mogą być zainteresowani następujący interesariusze:

- Administracja morska.
- GDOŚ/RDOŚ (Generalna/Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska).
- Organizacje proekologiczne.
- Centra badawcze.
- Przedsiębiorstwa zależne od morza (np. rybołówstwo, żegluga).
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Gdańsku.
- Samorząd województwa pomorskiego.
- Zarząd Morskiego Portu Gdańsk oraz Zarząd Morskiego Portu Gdynia.
- Firmy turystyczne.
- Uczelnie wyższe.
- Organizacje konsumenckie.
- Firmy stoczniowe.
- Operatorzy infrastruktury offshore oraz operatorzy energetyki morskiej.
- Operatorzy systemów monitoringu satelitarnego i lotniczego.
- Wyszczególnione przedsiębiorstwa nurkowe i przedsiębiorstwa ratownictwa morskiego.
- Laboratoria akredytowane do badań PAH i TPH w wodzie i osadach.

2. Zainteresowanie projektem

Oczyszczanie wraków S/S „Stuttgart” budzi zainteresowanie z uwagi na szereg potencjalnych korzyści:

- Korzyści ekologiczne, gospodarcze, zdrowotne i naukowe.
- Ochrona środowiska, zwiększenie przychodów z turystyki, zapewnienie bezpieczeństwa żegluga i zdrowia publicznego.
- Ograniczenie długoterminowego ryzyka odpowiedzialności publicznoprawnej oraz kosztów interwencji awaryjnych.

- Możliwość rozwoju zielonych technologii i kompetencji eksportowych (np. w obszarze *hot tapping*, inercjalizacji i remediacji osadów).
- Wzmocnienie pozycji regionu w ramach Strategii UE dla Regionu Morza Bałtyckiego.
- Budowa marki „czystej Zatoki” jako przewagi konkurencyjnej w turystyce i gastronomii.

3. Zakres zaangażowania

Stopień zaangażowania różni się w zależności od etapu projektu (planowanie, realizacja, monitoring) i obejmuje działania od **finansowania** po dostarczanie **ekspertyz i sprzętu**.

Zalecane działania organizacyjne i proceduralne dla zwiększenia efektywności zaangażowania to:

- Utworzenie zintegrowanej struktury koordynacyjnej (np. Komitet Sterujący z udziałem kluczowych organów administracji rządowej i samorządowej).
- Zastosowanie systemu zarządzania incydentem (ICS/UC) podczas operacji na morzu.
- Ustanowienie jednolitych protokołów pomiarowych i repozytorium danych środowiskowych (z otwartym dostępem dla nauki i społeczności lokalnej).
- Zdefiniowanie transparentnych procedur zamówień publicznych dla prac podwodnych i laboratoryjnych.

4. Oczekiwane rezultaty

Interesariusze oczekują wymiernych efektów, w tym:

- Przywrócenie ekosystemu morskiego do stanu naturalnego.
- Spadek stężeń PAH i TPH w osadach i biocie w strefie oddziaływania.
- Poprawa klasyfikacji jakości wód i wód kąpielowych.
- Stabilizacja wskaźników zdrowia populacji ryb i fok oraz zmniejszenie liczby ograniczeń połowowych i sanitarnych.
- Wzrost liczby turystów i bezpieczniejsza żegluga.
- Nowe odkrycia naukowe i poprawa zdrowia publicznego.
- Wzrost obrotów branży turystycznej i gastronomicznej w gminach nadmorskich.

5. Niepewność

Wokół projektu istnieje szereg obszarów niepewności, od których zależy ostateczna skala zaangażowania i zakres korzyści:

- Ilość i właściwości pozostałych paliw oraz ich dostępność dla technik wydobywczych.
- Integralność konstrukcji wraków.
- Warunki hydrodynamiczne i sezonowe okna pogodowe.
- Potencjalna obecność materiałów wybuchowych.
- Wpływ działań na obszary Natura 2000.

Z tych powodów zalecane jest przeprowadzenie pełnego przeglądu ryzyka (*risk register*) wraz z matrycą ryzyka i scenariuszami awaryjnymi, a także włączenie zobowiązań i kosztów zarządzania ryzykiem do harmonogramu i budżetu

9.2 Główni interesariusze

Poniższe zestawienie przedstawia głównych interesariuszy projektu oczyszczania wraków S/S „Stuttgart” w Zatoce Gdańskiej oraz ich obszary zainteresowania.

Główni interesariusze i ich obszary zainteresowania

Kluczowi interesariusze są podzieleni na cztery kwadranty w zależności od ich wpływu na projekt i zainteresowania jego wynikiem.

Kwadrant I: Zarządzaj blisko (Wysoki wpływ, Wysokie zainteresowanie)

Ta grupa interesariuszy jest kluczowa dla bezpiecznej, zgodnej z prawem i terminowej realizacji operacji.

Tabela 98 Kwadrant I – Zarządzaj blisko

Interesariusz	Obszar zainteresowania / Dlaczego zainteresowany	Kluczowe KPI / Oczekiwane rezultaty
Główna Dyrekcja Ochrony Środowiska (GDOŚ/RDOŚ) / WIOŚ Gdańsk	Ochrona środowiska i zdrowia publicznego, egzekwowanie przepisów krajowych i unijnych (MSFD, WFD, Dyrektywa Siedliskowa). Zanieczyszczenia z wraków zagrażają ekosystemom morskim i obszarom Natura 2000.	Zero wypadków; Zgodność z warunkami środowiskowymi i przepisami; Przywrócenie ekosystemów morskich.
Urząd Morski w Gdyni / Administracja Morska	Bezpieczeństwo żeglugi, porządek na morzu i ochrona środowiska morskiego w Zatoce Gdańskiej. Minimalizacja ryzyk operacyjnych i koordynacja prac.	Terminowość okien operacyjnych; Bezpieczeństwo żeglugi; Redukcja ryzyka incydentów morskich.
Marynarka Wojenna RP (MCM/EOD)	Bezpieczeństwo działań podwodnych i neutralizacja niewybuchów i amunicji (UXO).	Zminimalizowane ryzyko wybuchowe; Czas wykrycia UXO i skuteczność neutralizacji.
Morska Służba Poszukiwania i Ratownictwa (SAR)	Gotowość i reagowanie na rozlewy oraz wypadki morskie podczas operacji.	Czas reakcji na rozlew ≤ 60 min; Ograniczenie szkód środowiskowych.
Morski Oddział Straży Granicznej (MOSG)	Ochrona polskich obszarów morskich, zabezpieczenie rejonu prac i kontrola dostępu do stref operacji.	Brak incydentów bezpieczeństwa; Kontrola stref.
IMGW-PIB	Hydrometeorologia morską, prognozy pogody i morza oraz modele dryfu/rozlewów wspierające decyzje operacyjne.	Trafność prognoz pogodowych > 90%; Optymalizacja harmonogramu prac.
Polski Rejestr Statków (PRS)	Bezpieczeństwo techniczne operacji, ocena ryzyka konstrukcyjnego wraków i zatwierdzanie technologii (np. <i>hot tapping</i>).	Zgodność z normami technicznymi; Zero awarii sprzętu.

Kwadrant II: Utrzymuj zadowolenie (Wysoki wpływ, Niższe bieżące zainteresowanie)

Ta grupa ma strategiczny wpływ na projekt (finansowanie, regulacje międzynarodowe, ramy polityczne), ale nie jest bezpośrednio zaangażowana w codzienne operacje.

Tabela 99 Kwadrant II – Utrzymuj zadowolenie

Interesariusz	Obszar zainteresowania	Kluczowe KPI / Oczekiwane rezultaty
Ministerstwo Klimatu i Środowiska (MKiŚ)	Nadzór strategiczny, koordynacja polityk środowiskowych (MSFD/WFD), spójność regulacyjna i sprawozdawczość do KE i HELCOM.	Decyzje i uzgodnienia w terminie; Zgodność z prawem UE.
NFOŚiGW i WFOŚiGW	Finansowanie ochrony środowiska i projektów demonstracyjnych.	Poziom zabezpieczenia finansowania > 95%; Stabilne finansowanie.
Komisja Europejska (DG ENV, DG MARE, DG ECHO)	Wdrażanie dyrektyw UE (MSFD, WFD), zrównoważone rybołówstwo i koordynacja w sytuacjach awaryjnych (rozlewy).	Terminowość sprawozdań do KE/HELCOM; Wzrost wiarygodności międzynarodowej Polski.
HELCOM (Komisja Helsińska)	Ochrona środowiska Bałtyku, rekomendacje dotyczące obiektów niebezpiecznych i koordynacja reakcji na zanieczyszczenia.	Implementacja rekomendacji HELCOM.
Potencjalna strona niemiecka	Status prawny wraków, ochrona miejsc pamięci, aspekty dyplomatyczne i możliwe uzgodnienia techniczne/finansowe.	Zmniejszenie ryzyk prawnych.

Kwadrant III: Informuj i angażuj (Niższy wpływ, Wysokie zainteresowanie)

Ta grupa obejmuje partnerów społecznych i naukowych, których zaangażowanie jest kluczowe dla akceptacji społecznej projektu i dostarczania danych naukowych.

Tabela 100 Kwadrant III – Informuj i angażuj

Interesariusz	Obszar zainteresowania	Kluczowe KPI / Oczekiwane rezultaty
Lokalne samorządy (Gdańsk, Gdynia, Sopot)	Ochrona środowiska, wspieranie lokalnej gospodarki zależnej od turystyki i rybołówstwa. Zanieczyszczenie wpływa na jakość wód i plaż.	Poprawa środowiska, wzrost gospodarczy.
Związek Miast i Gmin Morskich (ZMiGM) / Euroregion Bałtyk	Rozwój gospodarczy i kulturalny regionu, ochrona środowiska, współpraca transgraniczna.	Wzrost turystyki; Wzmocnienie współpracy regionalnej.
Organizacje proekologiczne	Ochrona środowiska, bioróżnorodności, obszarów Natura 2000 i kolonii fok szarych.	Przywrócenie ekosystemu; Wzmocnienie mechanizmów partycypacji społecznej.
Uczelnie wyższe / Centra badawcze (np. UG, IO PAN, MIR-PIB)	Badania naukowe, analiza wpływu zanieczyszczeń, rozwój i testowanie technologii oczyszczania (np. eDNA, bioremediacja).	Publikacje naukowe; Transfer technologii.
Przedsiębiorstwa zależne od morza (rybackie, żeglugowe)	Zdrowy ekosystem morski, bezpieczeństwo żywności (owoce morza) i bezpieczna żegluga.	Brak nieplanowanych przestojów; Bezpieczne produkty.
Środowiska nurków rekreacyjnych	Dostęp do wraków jako atrakcji, bezpieczeństwo i informacja o zamknięciach akwenów.	Akceptacja społeczna operacji, bezpieczny powrót do nurkowania.

Kwadrant IV: Monitoruj (Niższy wpływ, Niższe zainteresowanie)

Ta grupa wymaga okresowego informowania w celu utrzymania pozytywnego wizerunku projektu.

Tabela 101 Kwadrant IV - Monitoruj

Interesariusz	Obszar zainteresowania	Kluczowe KPI / Oczeki- wane rezultaty
Firmy stoczniowe	Dostarczanie sprzętu, rozwój technologii do usuwania paliwa (<i>hot tapping</i>), budowa jednostek.	Bezpośrednie korzyści gospodarcze z nowych kontraktów.
Centra kulturalne (np. NMM, Centrum Kultury Morskiej)	Promocja dziedzictwa morskiego, dokumentacja historyczna wraków i edukacja społeczna.	Wzbogacenie zbiorów muzealnych; Zwiększenie frekwencji.
Opinia publiczna	Informacja o postępach, bezpieczeństwo i świadomość ekologiczna.	Poziom akceptacji społecznej; Zasięg medialny.

Warto podkreślić, że GDOŚ/RDOŚ jest centralnym interesariuszem ze względu na ustawowe obowiązki w zakresie ochrony środowiska, nadzoru regulacyjnego (OOŚ) i koordynacji działań z WIOŚ oraz instytucjami naukowymi. Projekt wpisuje się również w strategiczny wymiar realizacji zobowiązań Polski wynikających z prawa unijnego i międzynarodowego (np. Konwencja Helsińska).

9.3 Możliwe konflikty między interesariuszami

Zidentyfikowano kilka kluczowych obszarów napięć i potencjalnych konfliktów, zwłaszcza między wymaganiami operacyjnymi a wymogami ochrony środowiska.

A. Konflikt środowiskowo-wojskowy (UXO)

Głównym i najbardziej palącym konfliktem jest konflikt występujący między **organizacjami proekologicznymi** (np. Fundacja MARE) a **Marynarką Wojenną RP** w kontekście usuwania niewybuchów i amunicji (UXO).

- **Oś sporu:** Metody neutralizacji UXO.
- **Perspektywa ekologów:** Domagają się **minimalnie inwazyjnych metod** (np. neutralizacja niskoenerygetyczna, przenoszenie, izolacja UXO, stosowanie systemów tłumienia fali uderzeniowej, takich jak zastony bąbelkowe). Działania te mogą jednak **opóźnić prace o miesiące** z powodu dodatkowych badań środowiskowych. Ekolodzy dążą do długoterminowej ochrony bioróżnorodności, np. kolonii fok szarych w obszarach Natura 2000.
- **Perspektywa wojskowych:** Priorytetem jest **szybka eliminacja zagrożeń** wybuchowych poprzez bezpośrednie techniki EOD (jak detonacje kontrolowane) w celu zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi i personelu. Wojskowi preferują tajemnice operacyjne, podczas gdy ekolodzy żądają transparentności.

Konflikty tego typu miały już miejsce w międzynarodowych projektach, np. w projekcie oczyszczania wraku SS Richard Montgomery (Morze Północne) oraz w duńskim projekcie usuwania min z Bałtyku, co prowadziło do sporów sądowych i znacznych opóźnień.

B. Konflikt społeczno-operacyjny

- **Oś sporu:** Prawa dostępu do akwenu w trakcie operacji.

- **Strony konfliktu:** Lokalne środowiska nurków rekreacyjnych i operatorzy safari wrakowych kontra wojskowi procedury bezpieczeństwa i zamknięcia akwenów.
- **Rezultat:** Nurkowie mogą lobbować przeciwko długoterminowym zamknięciom stref operacyjnych, co może wprowadzać opór społeczny. Wymaga to kompromisów, takich jak tymczasowe alternatywy nurkowe i szczelne strefy bezpieczeństwa.

Łagodzenie konfliktów

Zarządzanie konfliktem wymaga:

1. **Włączenia zobowiązań i kosztów zarządzania ryzykiem** (w tym ryzykiem konfliktów) do harmonogramu i budżetu.
2. **Stosowania rozwiązań alternatywnych** (np. neutralizacja niskoenerygetyczna dla UXO).
3. **Wdrażania strategii budowania zaufania.**
4. **Opracowania pełnego przeglądu ryzyka** (*risk register*) wraz z matrycą ryzyka i scenariuszami awaryjnymi.

9.3.1 Szczegółowe scenariusze konfliktów i strategię mitygacji

Na podstawie analizy interesariuszy (rozdz. 8.1-8.2) oraz doświadczeń międzynarodowych z projektów remediacji morskiej, zidentyfikowano kluczowe scenariusze konfliktów, które mogą zagrozić realizacji PNZ. Dla każdego scenariusza określono strategię prewencji i reakcji.

Scenariusz K1: Sprzeciw organizacji ekologicznych (NGO) wobec wybranego wariantu remediacji

Opis:

NGO (np. Greenpeace, Surfrider Foundation, lokalne organizacje) kwestionują wariant cappingu jako zakopywanie problemu pod dywanem” i domagają się pełnego usunięcia zanieczyszczeń (dredging + ex-situ treatment).

Przyczyny:

- Niezrozumienie różnicy między “izolacją” a “pozostawieniem bez działania”.
- Obawy o skuteczność długoterminową (erozja cappingu).
- Brak zaufania do deklaracji monitoringu długoterminowego (“obiecuja, ale czy będą robi”).
- Ideologiczne podejście “zero odpadów”.

Prawdopodobieństwo: ŚREDNIE (30-50%)

Skutki:

- Opóźnienie projektu (protesty, petycje, skargi do KE).
- Konieczność dodatkowych konsultacji/OOŚ.
- Negatywna narracja medialna.
- Ryzyko eskalacji do poziomu politycznego (interwencja Ministerstwa, Sejmu).

Strategie prewencji:

1. **Wczesne zaangażowanie NGO** (przed finalizacją wyboru wariantu) – warsztaty, konsultacje, wspólne sesje z ekspertami.

2. **Transparentność procesu decyzyjnego** – publikacja analiz porównawczych wariantów (including capping vs. dredging).
3. **Pokazanie dowodów** – case studies z innych projektów (np. gdzie capping był skuteczny), wizualizacje, filmy.
4. **Zaproszenie NGO do udziału w monitoringu** – np. przedstawiciel NGO w Komitecie nadzorującym monitoring.
5. **Jasna komunikacja o ryzyku resztkowym** (patrz Z6) – uczciwość buduje zaufanie.

Strategie reakcji (jeśli konflikt się zdarzy):

1. **Dialog i mediacja** – spotkanie z NGO, wysłuchanie argumentów, wyjaśnienie racjonalności wyboru.
2. **Niezależny audyt/opinia** – jeśli NGO kwestionuje wybór, zaproponować opinię niezależnego eksperta (np. uniwersytet, instytut międzynarodowy).
3. **Modyfikacja planu** – jeśli argumenty NGO są merytoryczne, rozważyć modyfikację (np. wariant hybrydowy: capping + usunięcie hot-spotów).
4. **Utrzymanie linii komunikacyjnej** – nawet jeśli sprzeciw trwa, utrzymywać regularny kontakt (nie izolować NGO).
5. **“Plan B”** – w ostateczności: realizacja projektu zgodnie z decyzjami organów (RDOŚ, WIOŚ), mimo sprzeciwu NGO – ale z zachowaniem wszystkich procedur prawnych.

Scenariusz K2: Konflikt z rybołówstwem – ograniczenia obszaru połowowego**Opis:**

Rybacy (lokalne kooperatywy, armatorzy) sprzeciwiają się wyznaczeniu strefy wykluczenia połowowej wokół wraku/obszaru remediacji, argumentując utratę dochodów i tradycyjnych łowisk.

Przyczyny:

- Utrata dostępu do produktywnych łowisk (Zatoka Gdańska jest intensywnie eksploatowana).
- Brak rekompensaty za straty.
- Obawa, że strefa będzie “na zawsze” (brak jasnego terminu zniesienia ograniczeń).
- Niezrozumienie konieczności strefy (ryzyko wtórnej resuspensji przez trałowanie).

Prawdopodobieństwo: WYSOKIE (60-80%)**Skutki:**

- Nielegalne wejścia do strefy (trudność w enforcement).
- Protesty, blokady portowe.
- Presja polityczna (lobby rybołówstwa jest silne).
- Ryzyko dla bezpieczeństwa prac (kolizja statków/jednostek).

Strategie prewencji:

1. **Wczesne konsultacje z rybołówstwem** – prezentacja planu, wyjaśnienie konieczności strefy, wspólne określenie minimalnego niezbędnego obszaru.
2. **Rekompensaty finansowe** – system rekompensat za utracone dochody (np. z funduszu projektu lub NFOŚiGW).
3. **Jasny horyzont czasowy** – określenie, że strefa jest tymczasowa (np. 2 lata prac + 5 lat monitoringu intensywnego, potem rewizja).
4. **Alternatywne łowiska** – wsparcie w identyfikacji/udostępnieniu innych obszarów (np. współpraca z sektorem offshore – strefy wokół farm wiatrowych jako refugia).
5. **Zaangażowanie rybaków w monitoring** – np. program “citizen science” – rybacy raportują obserwacje (zarobek dodatkowy + poczucie wpływu).

Strategie reakcji:

1. **Negocjacje** – jeśli protesty, negocjacje w sprawie rozmiaru strefy, rekompensat, terminów.
2. **Enforcement** – współpraca z Strażą Graniczną/Marynarką Wojenną w patrolowaniu strefy (ale jako ostateczność, nie pierwsza linia).
3. **Mediacja** – jeśli dialog bezpośredni nie działa, mediator zewnętrzny (np. przedstawiciel Ministerstwa Gospodarki Morskiej).
4. **Elastyczność** – rozważyć warianty czasowe (np. strefa tylko w sezonie letnim, kiedy są prace; zima = bez ograniczeń).

Scenariusz K3: Konflikt regulacyjny – RDOŚ/KE kwestionuje decyzję środowiskową**Opis:**

Regionalny Dyrektor Ochrony Środowiska (RDOŚ) lub Komisja Europejska kwestionuje wydaną decyzję o środowiskowych uwarunkowaniach (OOŚ) dla wybranego wariantu remediacji, np. z powodu:

- niedostatecznej oceny wpływu na obszar Natura 2000,
- wątpliwości co do skuteczności cappingu,
- presji NGO.

Przyczyny:

- Nowe dane/raporty podważające założenia OOŚ,
- Zmiana interpretacji przepisów (np. nowe wytyczne KE),
- Presja społeczna/polityczna,
- Błędy proceduralne w OOŚ.

Prawdopodobieństwo: NISKIE do ŚREDNIE (20-40%)

Skutki:

- Wstrzymanie projektu (brak możliwości rozpoczęcia prac),
- Konieczność powtórzenia OOŚ (opóźnienie 1-2 lata),
- Dodatkowe koszty (nowe badania, analizy),
- Utrata zaufania interesariuszy ("nie wiedzą, co robią").

Strategie prewencji:

1. **Najwyższa jakość OOŚ** – zatrudnienie renomowanego wykonawcy, peer-review przez niezależnych ekspertów przed złożeniem.
2. **Konsultacje z RDOŚ przed złożeniem OOŚ** – nieformalne konsultacje, prezentacja założeń, pytanie o ewentualne zastrzeżenia.
3. **Nadmiarowe dane** – lepiej mieć więcej badań/analiz niż minimalne wymagania (zmniejsza ryzyko kwestionowania).
4. **Dokumentacja niepewności** – jasne wskazanie ograniczeń i niepewności (patrz Z6) – pokazuje rzetelność.
5. **Zgodność z wytycznymi HELCOM/OSPAR** – odwołanie się do międzynarodowych standardów (trudniej kwestionować).

Strategie reakcji:

1. **Dialog z RDOŚ/KE** – natychmiastowe spotkanie, wyjaśnienie wątpliwości, przedstawienie dodatkowych danych.
2. **Dodatkowe badania/analizy** – jeśli RDOŚ wymaga, szybko zrealizować (lepiej opóźnienie 3 miesiące niż 2 lata na nową OOŚ).

3. **Mediacja ekspertów** – zaproszenie niezależnych ekspertów (np. z uniwersytetów, HEL-COM) do oceny spornych kwestii.
4. **Modyfikacja planu** – jeśli zastrzeżenia są merytoryczne, zmodyfikować wariant.
5. **Procedury odwoławcze** – w ostateczności (jeśli decyzja RDOŚ jest nieuprawniona) – odwołanie do sądu administracyjnego (ale to scenariusz pesymistyczny, wieloletnie opóźnienie).

Scenariusz K4: Kryzys medialny/reputacyjny – narracja “zakryli truciznę”

Opis:

Media (lokalne/ogólnopolskie) lub influencerzy/aktywiści budują narrację:

- “Rząd zakupuje problem pod dywanem zamiast go rozwiązać”
- “Stuttgart to bomba ekologiczna – nic nie robią”
- “Wyciek trwa, a oni tylko mierzą”

Przyczyny:

- Brak zrozumienia złożoności problemu (media szukają prostych narracji).
- Potrzeba sensacji (nagłówki typu “bomba ekologiczna” sprzedają się lepiej niż “zarządzanie ryzykiem”).
- Instrumentalizacja przez aktorów politycznych (opozycja atakuje rząd).
- Incydent (np. plama oleju na plaży) – nawet jeśli niepowiązana ze Stuttgartem, media mogą połączyć.

Prawdopodobieństwo: ŚREDNIE do WYSOKIE (40-70%)

Skutki:

- Presja polityczna na decydentów (Ministerstwo, Urząd Morski).
- Ryzyko “reaktywnego” podejmowania decyzji (pod presją, bez analizy).
- Utrata zaufania społecznego.
- Trudności w rekrutacji wykonawców (obawa o reputację).

Strategie prewencji:

1. **Proaktywna komunikacja** – regularne uaktualnienia (np. co kwartał: “co zrobiliśmy, co dalej”).
2. **Przystępny język** – unikanie żargonu technicznego w komunikacji publicznej, infografiki, filmy.
3. **Transparentność** – publikacja raportów, danych (ale z interpretacją, żeby media nie wyciągały błędnych wniosków).
4. **Relacje z mediami** – budowanie relacji z dziennikarzami (edukacja, “backgrounders”).
5. **Ambasadorzy projektu** – zaangażowanie lokalnych liderów opinii (np. rektorzy uniwersytetów, lokalni politycy ponad podziałami).

Strategie reakcji:

1. **Szybka reakcja** – w ciągu 24h od publikacji negatywnego materiału: oficjalne stanowisko (nie ignorować!).
2. **Fact-checking** – jeśli informacje w mediach są błędne, spokojnie ale stanowczo prostować (z danymi).
3. **Oferowanie dostępu** – zaproszenie dziennikarzy na teren (pokaz prac, wywiady z ekspertami).
4. **Nie atakować** – nawet jeśli krytyka jest niesprawiedliwa, nie atakować dziennikarzy/aktywistów (pogarsza sytuację).

5. **Jeden głos** – wszystkie komunikaty przez jedną osobę/zespół (np. rzecznik UM Gdynia) – unikanie sprzecznych komunikatów.

9.3.2 Plan utrzymania licencji społecznej do prowadzenia projektu

Koncepcja “licencji społecznej do operowania” (Social License to Operate, SLO) oznacza **nieformalne przyzwoleństwo społeczności lokalnej i szerszych interesariuszy** na realizację projektu, wykraczające poza formalne pozwolenia prawne.

Dlaczego SLO jest kluczowe dla PNZ Stuttgart:

- Projekt jest długoterminowy (3-30 lat) – wymaga trwałego wsparcia.
- Działa w środowisku wrażliwym (Natura 2000, obszar intensywnie użytkowany).
- Zależy od współpracy wielu aktorów (organy, wykonawcy, społeczność).
- Ryzyko utraty SLO = opóźnienia, wzrost kosztów, porażka projektu.

Model SLO – cztery poziomy (adapted from Thomson & Boutilier):

Poziom 1: Wycofanie/Odrzucenie (Withdrawal)

- Brak akceptacji społecznej.
- Aktywny sprzeciw, protesty.
- Projekt niemożliwy do realizacji.

Poziom 2: Akceptacja (Acceptance)

- Minimalna akceptacja (“niech robią, skoro muszą”).
- Brak aktywnego sprzeciwu, ale też brak wsparcia.
- Projekt możliwy, ale wrażliwy na kryzysy.

Poziom 3: Zgoda/Aprobucha (Approval)

- Pozytywne postrzeganie projektu.
- Uznanie, że projekt przynosi korzyści.
- Aktywne wsparcie kluczowych interesariuszy.

Poziom 4: Współwłasność psychologiczna (Co-ownership)

- Interesariusze czują się “współwłaścicielami” projektu.
- Aktywne zaangażowanie, obrona projektu przed krytyką.
- Najwyższy poziom trwałości.

Cel dla PNZ Stuttgart: osiągnięcie Poziomu 3 (Approval) i utrzymanie go przez cały czas trwania projektu.

Działania na rzecz budowy i utrzymania SLO:

1. Legitymizacja (Legitimacy):

Demonstracja, że projekt jest zgodny z prawem, etyką i normami społecznymi.

Działania:

- Pełna zgodność z procedurami (OŚ, pozwolenia).
- Transparentność procesu decyzyjnego.
- Odwołanie się do autorytetów (np. opinie niezależnych ekspertów, HELCOM).

2. Wiarygodność (Credibility):

Demonstracja kompetencji i rzetelności.

Działania:

- Zatrudnienie renomowanych wykonawców/ekspertów.
- Publikacja wysokiej jakości raportów.
- Dotrzymanie zobowiązań (terminów, obietnic).
- Uczciwe przyznawanie się do ograniczeń (patrz Z6).

3. Zaufanie (Trust):

Budowanie relacji opartych na zaufaniu

Działania:

- Regularna, dwustronna komunikacja (nie tylko „my mówimy, wy słuchacie”).
- Responsywność – odpowiadanie na pytania, uwzględnianie feedbacku .
- Zaangażowanie interesariuszy w decyzje (np. warsztaty dla wyboru wariantu).
- Demonstracja troski o wspólne dobro (nie tylko „wykonanie kontraktu”).

4. Wzajemne korzyści (Mutually Beneficial Outcomes):

Demonstracja, że projekt przynosi korzyści nie tylko inwestorowi, ale też społeczności

Działania:

- Rekompensaty dla rybaków (patrz K2).
- Wsparcie dla lokalnej gospodarki (zatrudnienie lokalnych firm, jeśli możliwe).
- Wspólne cele (np. ochrona środowiska Bałtyku – cel wspólny z NGO).
- Edukacja (np. program edukacyjny dla szkół – Stuttgart jako case study ochrony morza).

Monitoring SLO:

Regularne badania opinii – ankiety wśród kluczowych interesariuszy (co rok).

1. Mierniki:

- Świadomość projektu (% interesariuszy znających projekt).
- Poziom akceptacji (skala: sprzeciw – neutralność – akceptacja – wsparcie).
- Poziom zaufania do instytucji realizujących (UM Gdynia, wykonawcy).
- Liczba i charakter interakcji (skargi vs. poparcie).

2. Progi alarmowe:

- Spadek akceptacji poniżej 50% kluczowych interesariuszy → aktywacja planu naprawczego.
- Wzrost liczby skarg/protestów o >50% → spotkanie zespołu zarządzającego, analiza przyczyn.

Odpowiedzialność za SLO:

Właściciel: Kierownik projektu (UM Gdynia).

Wsparcie: Specjalista ds. zaangażowania interesariuszy (dedykowana osoba/zespół).

Raportowanie: Kwartalnie do Międzyresortowego Zespołu.

Rysunek 33 Mapa ryzyk, skupiająca się na potencjalnych konfliktach, napięciach i wyzwaniach w relacjach pomiędzy głównymi grupami

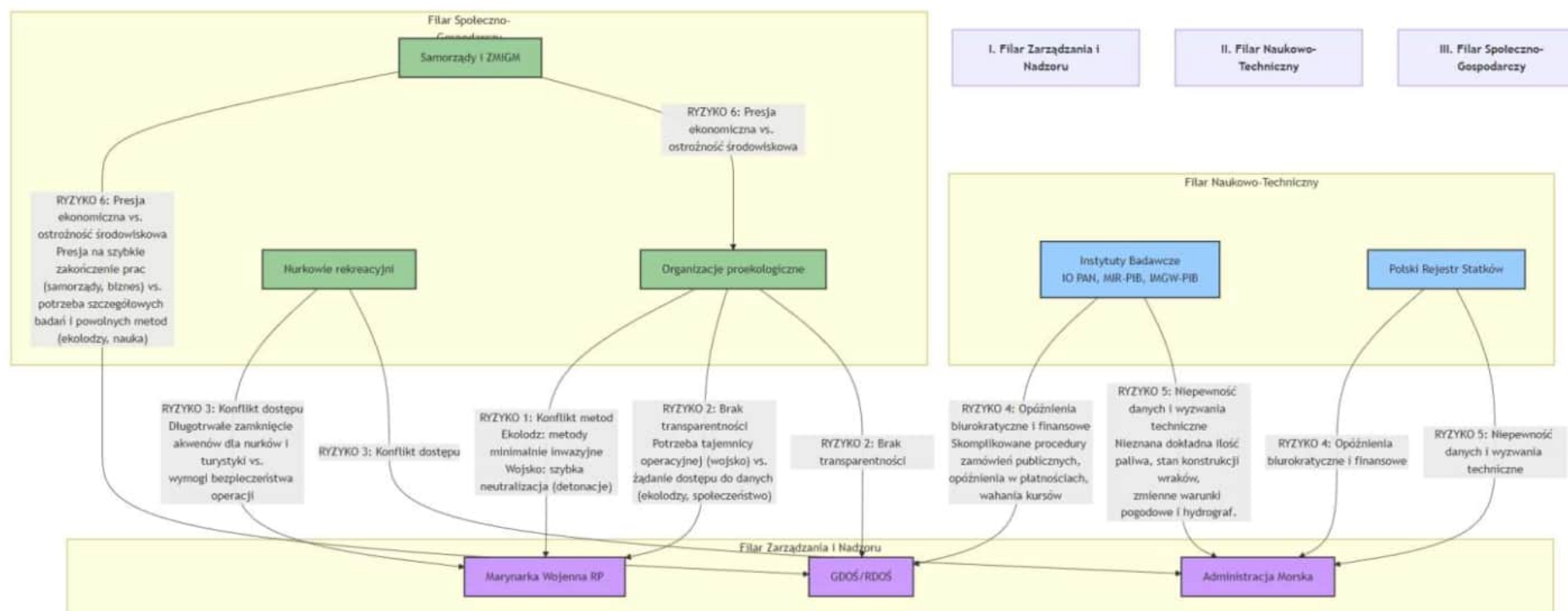


Tabela 102 Zestawienie interesariuszy

Kwa- drant	Interesariusz	Strategia_ angażowania	Kanały_komunikacji	Kluczowe_KPI	Częstotli- wość_kontakt
I	GDOŚ/RDOŚ/WIOŚ Gdańsk	Zarządzaj bli- sko	Codzienne odprawy operacyjne, VTS/NAVWARN, kanały SAR/EMSA	Zero wypadków, zgodność z warunkami środowiskowymi	Codziennie
I	Urząd Morski w Gdyni	Zarządzaj bli- sko	Cotygodniowe przeglądy ryzyka, tęczność VTS, strefy bezpieczeństwa	Terminowość okien operacyjnych, bez- pieczeństwo żeglugi	Codziennie
I	Marynarka Wojenna RP (MCM/EOD)	Zarządzaj bli- sko	Testy gotowości, sekwencje EOD, harmonogram operacji	Czas wykrycia UXO, skuteczność neu- tralizacji	Cotygodniowo
I	SAR	Zarządzaj bli- sko	Kanały SAR/EMSA, testy gotowości, plany awa- ryjne	Czas reakcji na rozlew ≤60 min, goto- wość 24/7	Na żądanie/24h
I	MOSG	Zarządzaj bli- sko	Strefy bezpieczeństwa, kontrola dostępu, pa- trole	Brak incydentów bezpieczeństwa, kon- trola stref	Codziennie
I	IMGW-PIB	Zarządzaj bli- sko	Okna pogodowe, modele dryfu, prognozy opera- cyjne	Trafność prognoz pogodowych >90%, okna operacyjne	Codziennie
I	Polski Rejestr Statków	Zarządzaj bli- sko	Zatwierdzenia techniczne, inspekcje, audyty bezpieczeństwa	Zgodność z normami technicznymi, zero awarii sprzętu	Cotygodniowo
II	MKiŚ	Utrzymuj zado- wolenie	Miesięczny Komitet Sterujący, briefy strate- giczne	Decyzje w terminie, brak uwag krytycz- nych w audytach	Miesięcznie
II	NFOŚiGW/WFOŚiGW	Utrzymuj zado- wolenie	Briefy finansowe, wnioski/umowy, raporty wy- datków	Poziom zabezpieczenia finansowania >95%	Miesięcznie
II	Kapitanaty portów i BHMW	Utrzymuj zado- wolenie	NAVWARN/BHMW, korekty map, uzgodnienia nawigacyjne	Aktualne dane nawigacyjne, zero kolizji w strefach	Cotygodniowo
II	Komisja Europejska	Utrzymuj zado- wolenie	Kwartalne raporty MSFD/HELCOM, noty dyplo- matyczne	Terminowość sprawozdań do KE/HEL- COM	Kwartalnie
II	EMSA	Utrzymuj zado- wolenie	CleanSeaNet, flotę gotowości, ekspertyzy tech- niczne	Czas wykrycia rozlewów satelitarnych ≤3h	Na żądanie
II	EEA/EFSA/CINEA	Utrzymuj zado- wolenie	Raporty efektów środowiskowych, dane moni- toringu	Jakość danych środowiskowych, zgod- ność z GES	Kwartalnie
II	HELCOM/ICES	Utrzymuj zado- wolenie	Sprawozdania do KE/HELCOM, standardy regio- nalne	Implementacja rekomendacji HELCOM	Kwartalnie
III	Samorządy lokalne	Informuj i an- gażuj	Portal transparentności, newsletter 2-tygo- dniowy	Satysfakcja w konsultacjach >80%, udział społeczny	2-tygodniowo

Kwa- drant	Interesariusz	Strategia_ angażowania	Kanały_komunikacji	Kluczowe_KPI	Częstotli- wość_kontaktu
III	ZMiGM/Euroregion Bał- tyk	Informuj i an- gażuj	Warsztaty techniczne, konsultacje Aarhus/Espoo	Zasięg kampanii, liczba partnerów regio- nalnych	Miesięcznie
III	NGO (Fundacja MARE, PKE)	Informuj i an- gażuj	Projekty citizen science, monitoring społeczny	Liczba projektów citizen science, moni- toring społeczny	Miesięcznie
III	Organizacje konsu- menckie	Informuj i an- gażuj	Komunikaty GIS/GIW, wytyczne konsumenckie	Brak skarg konsumenckich, przejrzyste komunikaty	Miesięcznie
III	Przedsiębiorstwa mor- skie	Informuj i an- gażuj	Uzgadnianie okien operacyjnych, kompensacje	Brak nieplanowanych przestojów, kom- pensacje w SLA	Cotygodniowo
III	Uczelnie i centra badaw- cze	Informuj i an- gażuj	Publikacje naukowe, współpraca badawcza	Liczba publikacji, transfer technologii	Miesięcznie
III	Laboratoria akredyto- wane	Informuj i an- gażuj	Protokoły pomiarowe, QA/QC, raporty anali- tyczne	Wiarygodność danych >99%, zgodność z ISO	Cotygodniowo
IV	Centra kulturalne	Monitoruj	Kampanie informacyjne kwartalnie, wystawy	Frekwencja na wydarzeniach, rozpozna- walność marki	Kwartalnie
IV	Opinia publiczna	Monitoruj	Komunikaty okresowe, wydarzenia edukacyjne	Zasięg medialny, poziom akceptacji społecznej	Kwartalnie
IV	Firmy stoczniowe	Monitoruj	Ogłoszenia przetargów, prezentacje możliwości	Liczba zgłoszeń do przetargów, konku- rencyjność	Półrocznie

Tabela 103 Harmonogram komunikacji

Faza_projektu	Typ_komunikacji	Grupa_docelowa	Kanał_komunikacji	Częstotliwość	Odpowiedzialny	SLA_czas_reakcji
Planowanie	Konsultacje spo- łeczne (Aarhus)	Spółeczność lokalna, NGO	Spotkania publiczne, portal	Jednorazowo	Rzecznik + GDOŚ/RDOŚ	N/A
Planowanie	Warsztaty techniczne	Eksperci, uczelnie, centra badawcze	Warsztaty, webinary	Co 2 miesiące	Koordynator nau- kowy	N/A
Planowanie	Briefing dla mediów	Media krajowe i lo- kalne	Konferencje prasowe	Co 3 miesiące	Rzecznik projektu	N/A
Planowanie	Portal transparentno- ści - launch	Wszyscy interesariu- sze	Portal internetowy, dashboard	Aktualizacje ciągłe	Zespół komunikacji	N/A
Planowanie	Uzgodnienia między- narodowe	KE, HELCOM, strona niemiecka	Kanały dyploma- tyczne, HELCOM	Według potrzeb	MKiŚ + rzecznik	N/A

Faza_projektu	Typ_komunikacji	Grupa_docelowa	Kanał_komunikacji	Częstotliwość	Odpowiedzialny	SLA_czas_reakcji
Realizacja	Codienne odprawy operacyjne	Kwadrant I (zarządzaj blisko)	VTS, łączność operacyjna	Codziennie	Kierownik operacji	Natychmiast
Realizacja	Newsletter 2-tygodniowy	Kwadrant III (informuj i angażuj)	E-mail, portal, social media	Co 2 tygodnie	Zespół komunikacji	48h
Realizacja	Komunikaty NAVWARN	Żegluga, porty	NAVTEX, komunikaty portowe	Według potrzeb	Urząd Morski + BHMW	2h
Realizacja	Raporty postępów miesięczne	Kwadrant II (utrzymuj zadowolenie)	Raporty, prezentacje	Miesięcznie	Kierownik projektu	5 dni miesiąca
Realizacja	Monitoring społeczny	NGO, społeczność lokalna	Ankiety, spotkania	Co 2 miesiące	Koordinator społeczny	48h
Monitoring	Raporty kwartalnej oceny	Wszyscy interesariusze	Raporty, portal	Kwartalnie	Kierownik projektu	10 dni kwartalnie
Monitoring	Publikacje naukowe	Społeczność naukowa	Czasopisma naukowe, konferencje	Według harmonogramu	Instytucje naukowe	Według harmonogramu
Monitoring	Ocena skuteczności	Organy regulacyjne	Raporty urzędowe	Półrocznie	GDOŚ/RDOŚ	30 dni
Monitoring	Komunikaty końcowe	Wszyscy interesariusze	Portal, media, raporty	Na zakończenie	Kierownik projektu	N/A
Kryzys/Incydent	Pierwszy komunikat (≤60 min)	Media, społeczność	Portal, social media, media	Natychmiast	Rzecznik + ekspert HSE/EOD	60 min
Kryzys/Incydent	Aktualizacje (co 3-6h)	Media, kluczowi interesariusze	Portal, media, komunikaty	Do stabilizacji	Rzecznik projektu	3-6h
Kryzys/Incydent	Briefing na żywo	Media, organy nadzoru	Streaming, media	W razie eskalacji	Rzecznik + właściwy ekspert	3h od eskalacji

Szczegółowe zasady wdrożenia przedstawionych w niniejszym dokumencie strategii neutralizacji zagrożeń, wraz z protokołami operacyjnymi, systemem monitoringu oraz procedurami zarządzania ryzykiem, zostały opisane w Części II niniejszego Planu Neutralizacji Zagrożeń.