

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

WRAK STATKU FRANKEN

Załącznik 1

SZCZEGÓŁOWY OPIS WRAKU T/S FRANKEN





Statek zaopatrzeniowy T/S Franken

27 MAJA 2026

Benedykt Hac Pomiary Morskie
Autor: Benedykt Hac



Spis treści

1	Wstęp.....	7
1.1	Wprowadzenie.....	7
1.2	Użyte skróty	7
2	Szczegółowy Raport o Niemieckim Okręcie Zaopatrzeniowym T/S Franken	8
2.1	Wprowadzenie.....	8
2.2	Historia i Konstrukcja	8
2.2.1	Tło i Harmonogram Budowy	8
2.2.2	Projekt i Koszty	8
2.2.3	Specyfikacje Techniczne.....	9
3	Rola Operacyjna	10
3.1	Cel i Działania	10
3.1.1	Kluczowe Operacje	10
3.2	Zatonięcie	12
3.2.1	Okoliczności Zatonięcia.....	12
3.2.2	Kontekst Militarny.....	12
3.3	Obecny Stan Wraku	12
3.3.1	Lokalizacja i Stan	12
3.3.2	Obawy Ekologiczne i Historyczne.....	13
3.4	Wnioski	16
3.5	Nowe Ustalenia z Archiwów	16
3.5.1	Grupa Bojowa Thiele w Zatoce Gdańskiej w 1945 roku	16
3.5.2	Jednostki Grupy Bojowej Thiele	17
3.5.3	Paliwa	18
3.5.4	Uzbrojenie i amunicja.....	19
3.5.5	Inne istotne informacje	19
4	Szacowanie materiałów konstrukcyjnych statków klasy Dithmarschen	24
4.1	Najważniejsze założenia.....	24
4.2	Materiały konstrukcyjne	24
4.2.1	Grubość poszycia kadłuba	24
4.2.2	Inne dane techniczne	25
4.2.3	Przykłady podobnych jednostek	25
4.2.4	Analiza porównawcza.....	25
4.2.5	Szczegółowe szacowanie grubości poszycia w oparciu o dostępne reguły.....	26
5	Rodzaje paliw używanych na T/S Franken dla potrzeb własnych.....	28
5.1	Wprowadzenie	28

5.2	Rodzaje paliw wymienione w dokumencie.....	28
5.2.1	Olej napędowy	28
5.2.2	Olej opałowy (HFO/HDO – Heavy Fuel Oil / Heavy Diesel Oil – Heizöl)**	28
6	Wykaz wszystkich zbiorników pomocniczych na T/S Franken innych niż transportowe.	29
6.1	Paliwo	29
6.2	Smary	30
6.3	Odpady.....	30
6.4	Woda	31
6.5	Inne	31
6.6	Analiza i uwagi	32
6.7	Całkowita objętość zbiorników do przewozu paliwa, materiałów pędnych i smarnych.....	44
7	Systemy parowe używane również do podgrzewania paliwa w zbiornikach	47
7.1	Szczegóły techniczne	47
7.2	Wprowadzenie.....	47
7.3	Opis systemów parowych.....	47
7.3.1	Kotły pomocnicze (Auxiliary Boilers)	47
7.3.2	Kotły spalinowe (Exhaust Gas Boilers)	48
7.3.3	Systemy rozdziału pary i rurociągi parowe	49
7.3.4	Parowe maszyny pomocnicze	49
7.3.5	Systemy ogrzewania parowego	50
7.3.6	Systemy przeciwpożarowe i bezpieczeństwa na bazie pary.....	50
7.3.7	Para do produkcji wody	50
7.3.8	Dodatkowe aspekty techniczne.....	50
7.3.9	Podsumowanie wydajności	51
7.3.10	Wnioski	51
7.4	Podgrzewane zbiorniki na statku	51
7.4.1	Kluczowe punkty	51
7.4.2	Zidentyfikowane zbiorniki podgrzewane.....	52
7.4.3	Wnioski	55
7.5	Nieodpompowalne resztki paliwa na statku	55
7.5.1	Definicja i nazewnictwo	55
7.5.2	Charakterystyka resztek.....	56
7.5.3	Przyczyny powstawania nieodpompowalnych resztek paliwa	56
7.5.4	Szacowana ilość nieodpompowalnych resztek paliwa.....	58
7.6	Wpływ paliwa nieodpompowalnego na środowisko i koszty operacji usuwania	58
7.6.1	Zagrożenia dla środowiska	58

7.7	Wpływ powolnych wycieków HDO i paliwa rezydualnego z wraku Franken na środowisko Bałtyku	59
7.7.1	Charakterystyka HDO i paliwa rezydualnego.....	59
7.7.2	Mechanizm powolnych wycieków	59
7.7.3	Wpływ powolnych wycieków na środowisko Bałtyku	59
7.7.4	Zanieczyszczenie dna morskiego.....	60
7.7.5	Zanieczyszczenie toni wodnej	60
7.7.6	Zagrożenie dla łańcucha pokarmowego	60
7.7.7	Długoterminowe konsekwencje	60
7.7.8	Szacunkowa skala problemu.....	60
7.7.9	Wyzwania związane z oczyszczaniem	60
7.7.10	Możliwe rozwiązania.....	61
7.8	Emulsyfikacja Paliw w środowisku morskim	62
7.8.1	Wprowadzenie.....	62
7.8.2	Proces Emulsyfikacji Paliw w Środowisku Morskim	62
7.8.3	Zachowanie Różnych Typów Paliw w Długotrwałym Kontakcie z Wodą	63
7.8.4	Paliwa Ciężkie (np. Olej Bunkrowy C, HFO)	64
7.8.5	Podsumowanie zmian właściwości paliw w wyniku emulsyfikacji	65
7.8.6	Porównanie Właściwości Emulsji dla Różnych Typów Paliw	67
7.8.7	Implikacje dla Zarządzania Wyciekami Paliw.....	67
7.8.8	Podsumowanie	68
8	Kropłowy Wpływ Paliwa z Wraku: Analiza Zjawiska i Jego Skutków	69
8.1	Mechanizm Powstawania Plamy Paliwowej.....	69
8.1.1	Proces Wycieku i Tworzenie Filmu Paliwowego	69
8.1.2	Interferencja Światła i Wykrywanie Wycieków.....	70
8.1.3	Szacowanie Powierzchni Plamy Paliwowej	70
8.1.4	Kategoryzacja filmów paliwowych	70
8.1.5	Klasyfikacja Grubości Filmu Paliwowego	71
8.1.6	Czynniki Wpływające na Rozprzestrzenianie się Plamy	71
8.1.7	Czynniki Wpływające na Trwałość Filmu Olejowego	72
8.2	Procesy Pogarszania Oleju (Weathering)	72
8.2.1	Parowanie (Evaporation).....	72
8.2.2	Rozproszenie (Dispersion)	72
8.2.3	Emulsyfikacja	73
8.2.4	Biodegradacja.....	73
8.3	Szacunkowy Czas Trwania Filmu Olejowego.....	73

8.3.1	Przykłady.....	73
8.4	Wnioski	73
Literatura:		75

Spis ilustracji

Rysunek 1	Z lewej: T/S Franken w początkowym okresie służby, Z prawej: Wodowanie Grafa Zeppelina. Po lewej widoczny kadłub T/S Franken (na 6 m-cy przed jego wodowaniem) 8
Rysunek 2	T/S Franken na wodach Zatoki Gdańskiej w końcowym okresie wojny 8
Rysunek 3	U góry: Szkic okrętów klasy Dithmarschen tu Franken, poniżej: Jedyna znana barwna fotografia T/S Franken w kamuflażu z końca wojny..... 9
Rysunek 4	T/S Franken w kilka minut po krytycznym trafieniu bombami lotniczymi. Widać oderwaną i już tonącą część dziobową okrętu oraz ogarniętą pożarem nadbudówkę główną. Widać również po lewej burcie rozlewającą się skośnie plamę paliwa z uszkodzonych zbiorników 13
Rysunek 5	Z lewej: zdjęcie przedstawia eksplozję wtórną na pokładzie tonącego Frankena (w prawym górnym rogu widoczna jest kula ognia), która mogła doprowadzić do rozszczelnienia pozostałych zbiorników z paliwem poprzez przeniesienie siły wybuchu po grodziach wzdłużnych w stronę rufy. Z prawej: Na zdjęciu powyżej widać ostatnie chwile tonącego Frankena (nad powierzchnię wody wystaje tylko rufa) i sporych rozmiarów słup dymu 14
Rysunek 6	Obraz wraku wykonany w oparciu o dane z echosondy wielowiązkowej źródło: Instytut Morski w Gdańsku 2018 15
Rysunek 7	Na zdjęciu powyżej doskonale widoczny jest gęsty tuman dymu z płonącej plamy paliwa w miejscu zatonięcia Frankena (oznaczony cyfrą 2) niemalże dobę po jego zatopieniu. Stanowi ono bardzo wyraźny dowód na to, że paliwo wydostawało się z uszkodzonych zbiorników zatopionego statku i zasilalo płonącą na powierzchni plamę ropy przez co najmniej kolejną dobę. Jest to cenna informacja z punktu oceny ilości paliwa, które mogło pozostać ewentualnie na wraku 16
Rysunek 8	T/S Franken - Plan załadunku paliwa (źródło: archiwum Freiburg) 34
Rysunek 9	T/S Franken - Plan załadunku paliwa (źródło: archiwum Freiburg) 35
Rysunek 10	Rysunki konstrukcyjne statku T/S Franken u góry przekrój wzdłużny, na dole - przekroje poprzeczne (źródło: archiwum Freiburg) 36
Rysunek 11	Plamy oleju nad wrakiem źródło: Tomasz Stachura 69

Wykaz tabel

Tabela 1	Wykaz skrótów użytych w tekście 7
Tabela 2	Zestawienie parametrów technicznych okrętu T/S Franken 10
Tabela 3	Tabela jednostek i ich pojemności paliwa..... 18
Tabela 4	Rodzaje paliw używanych przez okręty grupy Thiele 18
Tabela 5	Szacunkowe grubości poszycia 26
Tabela 6	Paliwa używane dla potrzeb własnych 28
Tabela 8	Zbiorniki Paliwowe – Nazwy, Rodzaje, Pojemności, Rozmieszczenie 29
Tabela 9	Zbiorniki zawierające oleje smarne i hydrauliczne 30
Tabela 10	Zbiorniki Odpadów Olejowych..... 30
Tabela 11	Zbiorniki Wodne – Typy (Pitna, Użytkowa, Balastowa) 31
Tabela 12	Zbiorniki techniczne (Substancje, Pojemności, Funkcje) 31
Tabela 13	Zestawienie wszystkich zbiorników zabudowanych na statku Franken 37
Tabela 14	Całkowita pojemność zbiorników – Zestawienie Paliw i Mediów 45
Tabela 15	Wydajność Systemów Parowych – Ciśnienie, Temperatura, Moc, Powierzchnia Grzewcza 51
Tabela 16	Zbiorniki Podgrzewane – Lokalizacja, Metoda, Zawartość, Parametry 53
Tabela 17	Podsumowanie szczegółów dotyczących podgrzewania paliwa w innych kontekstach: 55
Tabela 18	Szacunkowe Wartości Paliwa Nieodpompowanego – Typ Statku, Procent, Uwagi 58
Tabela 19	Porównanie Emulsji – Typ Paliwa, Tendencja Emulgacji, Zmiana Objętości, Gęstość, Lepkość, Właściwości, Toksyczność, Wpływ na Środowisko 67
Tabela 20	Przykłady obliczeń 70
Tabela 21	Kategoryzacja filmów paliwowych 70
Tabela 22	Klasyfikacja grubości filmu paliwowego 71

1 Wstęp

1.1 Wprowadzenie

Niniejszy raport zawiera szczegółowy opis okrętu T/S Franken oparty o analizę źródeł historycznych. Stanowi kompendium wiedzy zgromadzonej przed realizacją projektu, zleconym Urzędowi Morskiemu w Gdyni.

Projekt: *Działania pomiarowe oraz badawcze dotyczące rozpoznania i ewentualnej neutralizacji materiałów niebezpiecznych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego dla lokalizacji: „wrak statku Franken”.*

Raport zawiera również wstępny opis zachowania się paliw w środowisku morskim.

1.2 Użyte skróty

Tabela 1 Wykaz skrótów użytych w tekście

Skrót	Znaczenie
BRT	Tonaż rejestrowy brutto. Jednostka miary używana do określenia pojemności brutto statku.
DGPS	Różnicowy System Globalnego Pozycjonowania (Differential Global Positioning System)
GMDSS	Światowy Morski System Łączności Alarmowej i Bezpieczeństwa (Global Maritime Distress and Safety System)
HELCOM	Helsinki Commission. Organizacja wspomniana w kontekście współpracy międzynarodowej przy działaniach dotyczących wraku.
HFO	Heavy Fuel Oil (Ciężki Olej Opałowy). Paliwo o wysokiej lepkości i wartości energetycznej. Zamiast HDO w kontekście międzynarodowym. Używane jako ładunek transportowy na T/S Franken i paliwo napędowe jednostek Grupy Bojowej Thiele.
HDO	Heavy Diesel Oil (Ciężki Olej Napędowy). Czasem używany jako synonim HFO w europejskich dokumentach, szczególnie niemieckich. Stosowany na T/S Franken do zasilania kotłów pomocniczych.
IMO	Międzynarodowa Organizacja Morska (International Maritime Organisation)
LDO	Light Diesel Oil (Lekki Olej Napędowy). Wariant MDO niższe lepkości. Czasami używane zamiast „paliwa lekkiego” w dokumentach
MARPOL	Międzynarodowa konwencja dotycząca zapobiegania zanieczyszczaniu morza przez statki, wspomniana w kontekście zarządzania odpadami olejowymi i regulacji.
MBES	Echosonda wielowiązkowa
MDO	Marine Diesel Oil (Olej Napędowy Morski). Paliwo do mniejszych okrętów i napędu T/S Franken. Również transportowany jako ładunek.
MMSI	Morski Sygnał Wywoławczy (Maritime Mobile Service Identity)
PUWG 92	Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych 1992
ROV	Zdalnie sterowany pojazd podwodny (Remote Operated Vehicle). Wykorzystywany np. podczas oczyszczania wraku Franken.
RTK	Kinematyczny Tryb Czasu Rzeczywistego (Real Time Kinematic)
SAR	Synthetic Aperture Radar. Technika wykorzystywana np. w monitoringu satelitarnym do wykrywania cienkich filmów paliwowych na powierzchni wody.
SES	Profilomierz osadów
SSS	Sonar boczny (SideScanSonar)
ton	Wyporność statku. Miara masy statku lub masy wody, którą wypiera.
USBL	System pozycjonowania podwodnego (Ultra Short Base Line)
UTM	Odwzorowanie Mercatora (Universal Transverse Mercator)
WGS84	Globalny System Geodezyjny 1984 (World Geodetic System 1984)

2 Szczegółowy Raport o Niemieckim Okręcie Zaopatrzeniowym T/S Franken

2.1 Wprowadzenie

Statek T/S Franken, niemiecki zaopatrzeniowiec klasy Dithmarschen, operował na Bałtyku podczas II wojny światowej, dostarczając paliwo i amunicję. Zatopiony 8 kwietnia 1945 roku na wschód od Helu, obecnie jego wrak leży na głębokości około 70 metrów, najmniejsza głębokość nad główną częścią wraku wynosi 47,4 metra. Wrak stanowi potencjalne zagrożenie ekologiczne. Raporty wskazują na znaczące zanieczyszczenie gleby w pobliżu wraku, z przekroczeniem norm toksycznych substancji.

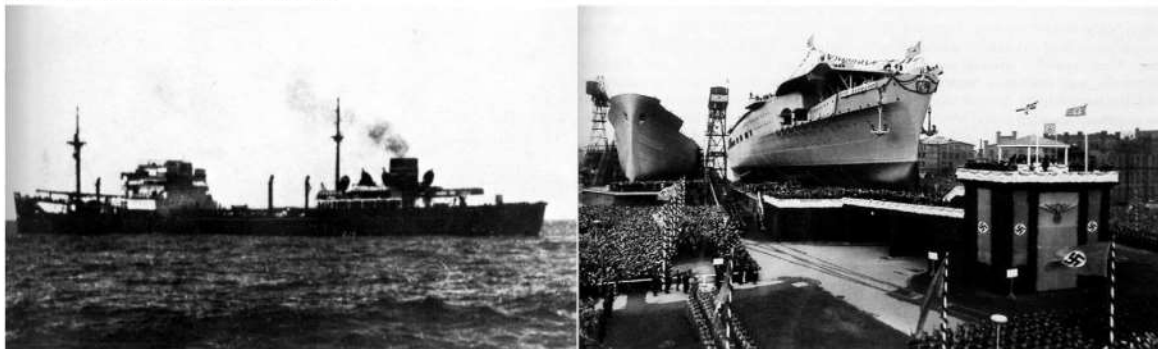
2.2 Historia i Konstrukcja

2.2.1 Tło i Harmonogram Budowy

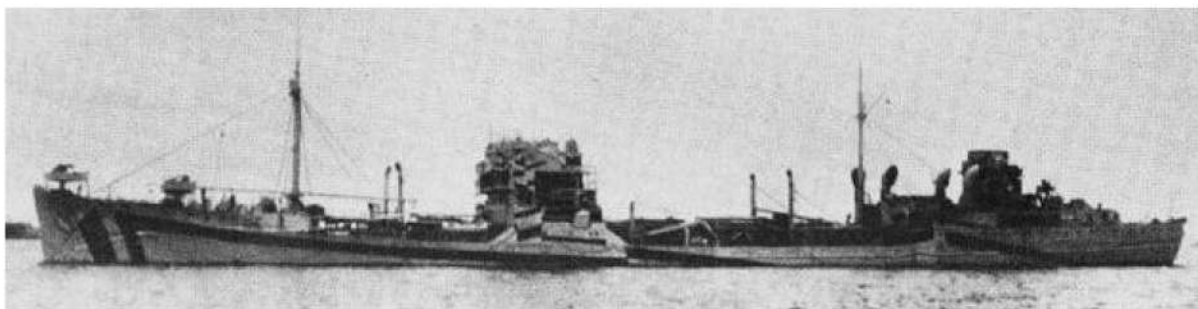
Budowa T/S Franken rozpoczęła się 18 lutego 1937 roku w stoczni Deutsche Werke AG w Kilonii. Stępka została położona 7 grudnia 1937 roku. Kadłub zwodowano 8 czerwca 1939 roku.

Wybuch II wojny światowej znacząco opóźnił prace wyposażeniowe. W lipcu 1942 roku kadłub przeniesiono do stoczni Burmeister & Wain w Kopenhadze na dokończenie budowy.

Okręt wszedł do służby Kriegsmarine 17 marca 1943 roku. Przydzielony został do Troßschiffverband Nord i operował wyłącznie na Morzu Bałtyckim. Pierwotnie oznaczany jako „Okręt Zaopatrzeniowy C”, otrzymał następnie nazwę Franken.



Rysunek 1 Z lewej: T/S Franken w początkowym okresie służby, Z prawej: Wodowanie Grafa Zeppelina. Po lewej widoczny kadłub T/S Franken (na 6 m-cy przed jego wodowaniem)



Rysunek 2 T/S Franken na wodach Zatoki Gdańskiej w końcowym okresie wojny

2.2.2 Projekt i Koszty

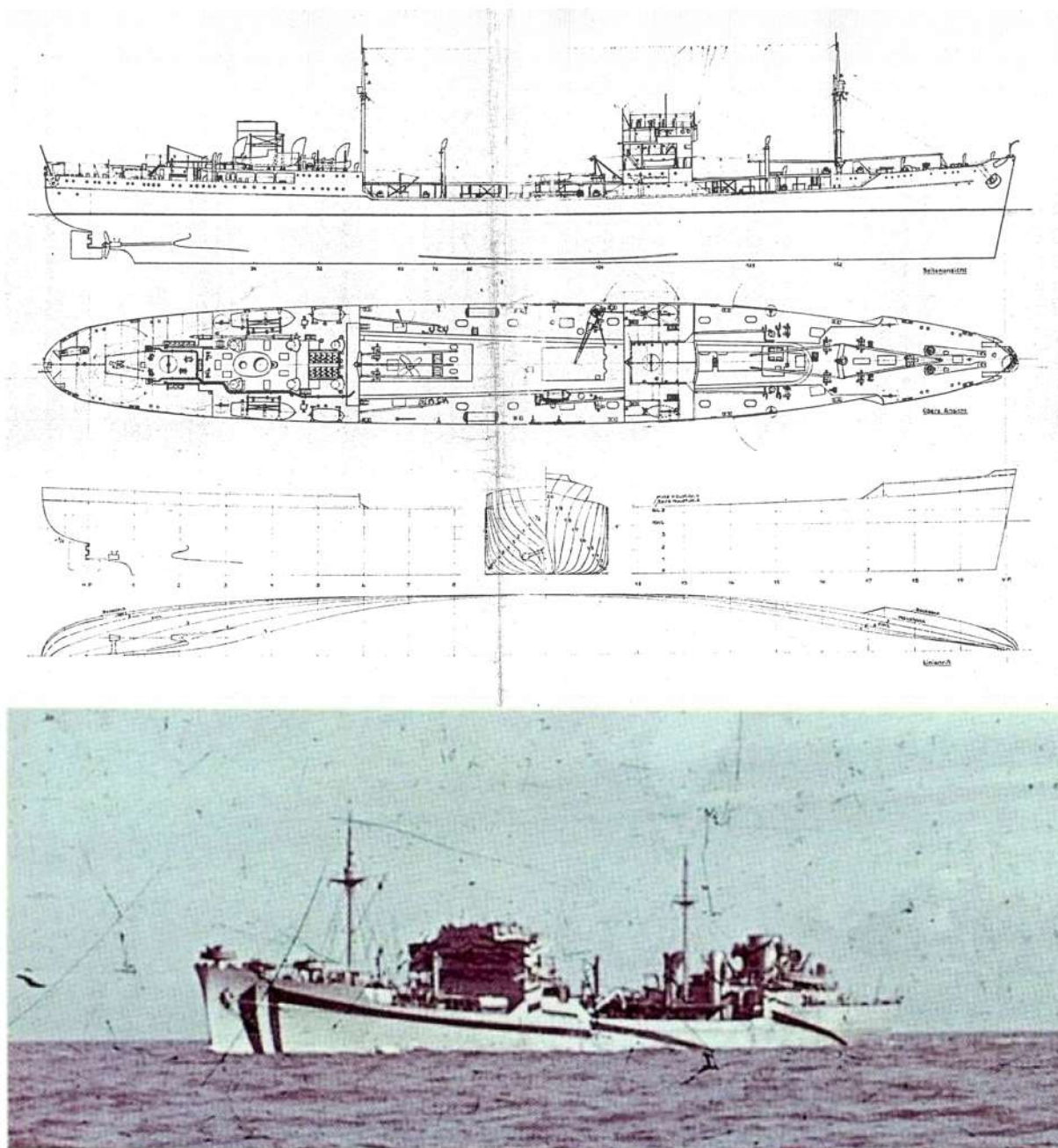
Okręt należał do klasy Dithmarschen, nowoczesnej i dobrze uzbrojonych jednostek zaopatrzeniowych. Charakteryzowały ją:

- Cztery niezależne diesle MAN (24 000 KM)
- Maksymalna prędkość: 20,9 węzłów

- Pojemność całkowita: 12 367 ton

- Zaawansowana technologia systemu paliwowego

Koszt budowy wyniósł około 12,5 miliona Reichsmark (RM), co odpowiadało ~87,5 miliona dolarów US (wg kursu 1937 roku). Koszty odzwierciedlały zaawansowane rozwiązania inżynieryjne dedykowane roli zaopatrzeniowej.



Rysunek 3 U góry: Szkic okrętów klasy Dithmarschen tu Franken, poniżej: Jedyna znana barwna fotografia T/S Franken w kamflażu z końca wojny

2.2.3 Specyfikacje Techniczne

Parametry techniczne T/S Franken opisane poniżej charakteryzują jednostkę transportowo–zaopatrzeniową Kriegsmarine jako silnie uzbrojony duży tankowiec floty. Czasami (ze względu na kaliber uzbrojenia głównego równy 150 mm) klasyfikowany jako krążownik pomocniczy.

Tabela 2 Zestawienie parametrów technicznych okrętu T/S Franken

Parametr	Wartość
Tonaż rejestrowy	11 115 BRT
Wyporność	22 850 ton
Wymiary	Długość całkowita (Loa): 179 m Długość na linii wodnej (Lwi): 175 m, Szerokość (B): 22 m, Zanurzenie (d): 10,2 m
Maksymalna prędkość	20,9 węzła
Napęd	Cztery dziewięciocylindrowe silniki diesla MAN (24 000 KM), dwie stałe śruby (średnica 5,2 m)
Zasięg	12 000 mil morskich przy 15 węzłach (1465 t MDO)
Pojemność ładunkowa	12 367 ton (9400 ton paliwa, 972 tony amunicji, 790 ton prowiantu, 208 ton części zamien-nych)
Uzbrojenie	Uzbrojenie - 3 × 150 mm L/45 (przeciwokrętowe, główne) - 6 × 37 mm (przeciwlotnicze) - 16 × 20 mm (przeciwlotnicze) - 8 × karabin maszynowy - 1 × wyrzutnia lin (przeciwlotnicza) Uwaga: Konfiguracja i liczby zmieniały się w trakcie służby (1937-1945).
Załoga	15 oficerów + 155–193 marynarzy (łącznie 170-208 osób)
Dodatkowe wyposażenie	Szpital polowy, warsztat, chłodnie, miejsce na samolot (na Franken nie wykorzystane)

3 Rola Operacyjna

3.1 Cel i Działania

Statek T/S Franken był kluczowym elementem logistycznym Kriegsmarine. Dostarczał okrętom wojennym paliwo, amunicję, prowiant i części zamienne. Operował głównie w Zatoce Gdańskiej, wspierając 2. Grupę Bojową (Kampfgruppe Thiele/Rogge) od końca 1944 do kwietnia 1945 roku.

Współpracował z następującymi jednostkami:

- Krążownik ciężki: Prinz Eugen
- Pancerniki kieszonkowe: Lützow, Admiral Scheer
- Niszczyciele: Z 43, Z 31
- Kutry torpedowe (torpedowce lekkie): T 23, T 28

W miarę jak postępy sowieckie i bombardowania portów, takich jak Gdynia, zakłócały linie zaopatrzenia, T/S Franken stał się głównym źródłem zasobów, przekazując zaopatrzenie na morzu za pośrednictwem mniejszych jednostek. Brał także udział w ewakuacjach i wspierał siły lądowe ogniem artyleryjskim.

3.1.1 Kluczowe Operacje

Najważniejsze operacje logistyczne obejmowały:

- Późny marzec: Rola T/S Franken jako statku zaopatrzeniowego wzrosła, ponieważ okręty bojowe nie mogły wchodzić do obleżonych portów Gdańska i Gdyni. Zaopatrzenie, w tym amunicja, było transportowane mniejszymi jednostkami, takimi jak holowniki, trawlerzy i kutry rybackie (KFK).
- 28 marca 1945 r., godzina nieznana: Pierwszy nalot na T/S Franken – osiem sowieckich bombowców Douglas A-20 Boston. Atak: Niecelny, bomby spadły ~30 m od statku. Miny: Prawdopodobnie zrzucone równocześnie. Kontekst: Tego samego dnia Sowieci zajęli port Gdynia.
- 29 marca 1945 r., godzina ~10:00-12:00: Drugi, bardziej celny nalot na T/S Franken.
 - Atakujące: Pięć bombowców Douglas A-20 Boston.
 - Trafienia: Jedna bomba trafiła w dziób, spowodowała pożar (ostatecznie ugaszony).
 - Straty: Załoga działa 37 mm i siedmiu marynarzy zginęło.

- Zaopatrzenie: Tankowiec Thalatta przestał 2066 m³ MDO/HFO. Razem: 3136 m³ paliwa dostępnego do transferu. OSTATNIA udokumentowana dostawa przed zatonięciem.
- 30 marca 1945: ., godzina nieznana: Operacje zasilania.
 - Transfer: 150 m³ paliwa do niszczycieli Z 43 i Z 31.
 - Kontekst: Upadek Gdyni ograniczył dostęp do portów zaopatrzeniowych
- 31 marca 1945: godzina nieznana: Operacje zasilania i transferu amunicji.
 - Amunicja: 555 pocisków kal. 127 mm dla niszczycieli Z 43.
 - Paliwo: 50 m³ dla niszczycieli Z 31 i Z 38.
 - Rozkaz: Zaplanowane wycofanie Frankena na zachód.
- 1 kwietnia 1945: Krytyczna sytuacja paliwowa w rejonie Helu.
 - MDO: ~2500 m³ (olej napędowy)
 - HFO: ~500 m³ (ciężki olej opałowy)
 - Razem: ~3000 m³ paliwa w całym rejonie operacyjnym.
- 2 kwietnia 1945 r.: 1945 r., 13:20: T/S Franken wpadł na minę morską.
 - Pozycja: 54°29'N, 18°53'E (Zatoka Gdańska)
 - Uszkodzenia: Pęknięcie kadłuba (zgłoszone: ~3 cm, możliwe większe). Uszkodzenie steru i mechanizmu sterowego. Napływ wody do niektórych przedziałów.
 - Operacyjność: Statek pozostał zdolny do manewrowania, lecz podatny na dalsze ataki.
- 4 kwietnia 1945 r.: Główny Sztab Kriegsmarine potwierdza raport o uszkodzeniach minowych.
 - Zawartość: Rozkaz przekazania maksymalnie możliwej ilości ładunków innym jednostkom w następnych dniach.
 - Celowość: Franken pozostałby operacyjny na terenie Zatoki Gdańskiej w roli zaopatrzeniowej.
- 5 kwietnia 1945 r.:
 - Noc: Niszczyciel Z 43 i pancernik Lützow pobierają amunicję z T/S Franken.
 - Rozkaz taktyczny: Z 43 wyznaczony do ochrony przeciwlotniczej Frankena na podejściu do reddy Helu.
 - Dzień: Z 43 zapewnia osłonę Frankenowi, następnie Prinz Eugenowi (przed okrętami podwodnymi i lotnictwem).
 - Wieczór: Torpedowiec T 33 przydzielony do ochrony Frankena (rozkaz 2. Grupy Bojowej).
- 6 kwietnia 1945 r.:
 - Zabezpieczenie: Z 43 i T 33 kontynuują ochronę Frankena.
 - Rano: Transport amunicji – Franken odbiera amunicję od transportowca "Orestes" podczas ruchu.
 - Południe: Gęsta mgła. Na rozkaz 2. Grupy Bojowej trzystatkowy szyk zakotwicza burtą do burty: Z 43 – Franken – inny statek.
 - Transfer zasilania: Z 43 odbiera paliwo od Prinz Eugena (noc), następnie od Frankena (rano). Wymiana zapasów między jednostkami "wymuszonym kursem"
- 7 kwietnia:
 - 06:11 – Alarm lotniczy: Dwa bombowce Pe-2 – poza zasięgiem ognia Z 43.
 - Rozkaz: Z 43 wysłany do ochrony Frankena.
 - ~06:30 – Drugi alarm: Te same samoloty (Pe-2) – poza zasięgiem.
 - ~07:00 – Transfer zasilania: Z 43 zacumowany ponownie do burty Frankena podczas ruchu. Kontynuacja zaopatrzenia.
 - 12:41 – Trzeci alarm lotniczy: Samoloty widoczne nad chmurami (bliżej, ale wciąż wysoko).
 - Wieczór: Z 43 eskorta Frankena do kotwiczowiska G (rozkaz 2. Grupy Bojowej).
 - ~23:55 – Alarm podwodny: Z 43 ściga podejrzany okręt podwodny. Sonar potwierdza: hałas silnika elektrycznego nieznanego OP.

- 8 kwietnia: Od wczesnego ranka masowy nalot sowiecki z udziałem dziesiątek samolotów Douglas A-20 Boston, Il-2 i Pe-2 na okręty koło Helu. T/S Franken był zakotwiczony na kotwiczowisku G na redzie Helu, chroniony tylko przez lekko uzbrojony niszczyciel Z 43. O 09:49 formacja 8-10 sowieckich bombowców Boston i myśliwców eskortujących, lecąc na wysokości 50 metrów, zaatakowała od strony prawej burty w kierunku ku rufie Frankena. Atak został odparty przez ogień przeciwlotniczy Z 43 i Frankena. O 11:27 rozpoczął się największy jak dotąd masowy nalot, z udziałem około 15 bombowców i 40 myśliwców-bombowców. O 11:38 Franken został trafiony kilkoma bombami, prawdopodobnie czterema FAB-100 z samolotu Il-2 Floty Bałtyckiej, trafiając w zbiorniki paliwa na dziobie. Niektóre źródła podają, że do ataku użyto torped lotniczych. Eksplozja odcięła sekcję dziobową tuż przed główną nadbudówką, zabijając niemal całą załogę tam obecną. Nastąpiły wtórne eksplozje amunicji, prawdopodobnie uszkodzając inne zbiorniki paliwa lub powodując ich eksplozję. Statek zajął się ogniem, przechylił się do przodu i zaczął tonąć. O 11:45 zatrzymano silniki, o 11:55 wydano rozkaz opuszczenia statku. Płonący Franken zatonął o 12:22 (lub 12:30/12:40 według innych źródeł), pozostawiając dużą plamę palącego się paliwa na powierzchni, która utrzymywała się do następnego ranka.

T/S Franken był niezbędny do utrzymania zdolności operacyjnych floty bałtyckiej w ostatnich miesiącach wojny, szczególnie w obliczu pogarszających się linii zaopatrzenia.

3.2 Zatonięcie

3.2.1 Okoliczności Zatonięcia

Atak lotniczy

- Stanowisko: T/S Franken zakotwiczony w pobliżu Helu, chroniący go jedynie niszczyciel Z 43.
- Atakujące: Sowieckie samoloty (Il-2 Sturmovik, Douglas A-20 Boston).
- Czas głównego ataku: 11:38.
- Trafienia: Kilka bomb (najprawdopodobniej FAB-100) trafiło w dziób statku.

Zniszczenie

- Eksplozje: Potężna eksplozja paliwa i amunicji w dużolu. Eksplozja odcięła przednią część okrętu.
- Wtórne wybuchy: Liczne wtórne eksplozje amunicji i paliwa w magazynach.
- Pożar: Okręt stanął w płomieniach.
- Przechył: Szybki przechył do burty.

Zatonięcie

- Godzina: 12:22 (alternatywnie: 12:30–12:40 wg innych relacji).
- Lokalizacja: Redę Helu, Zatoka Gdańska.

Straty

- Poległych: 48 osób (z 193 członków załogi), w tym Kapitana Franza Kraphola.
- Ocalałych: Uratowani przez niemieckie szybkie łodzie i kutry.

3.2.2 Kontekst Militarny

Zatonięcie miało miejsce w końcowej fazie II wojny światowej, gdy sowieckie postępy i przewaga w powietrzu czyniły operacje morskie coraz bardziej niebezpiecznymi dla sił niemieckich. Atak na T/S Franken podkreślił podatność niemieckich okrętów zaopatrzeniowych na sowiecką siłę powietrzną.

3.3 Obecny Stan Wraku

3.3.1 Lokalizacja i Stan

Wrak T/S Franken (główna część kadłuba) spoczywa w Zatoce Gdańskiej na współrzędnych 54°32'18.60"N, 18°57'58.90"E, na głębokości dochodzącej do około 70 metrów. Minimalna głębokość nad wrakiem wynosi 47,4 m. Jest podzielony na dwie sekcje oddalone od siebie o 421 metrów i zaplątany w sieci rybackie.

Szacuje się, że wrak zawiera:

Paliwa ciężkie (ryzyko dla osadów dennych – nisko dla wód powierzchniowych)

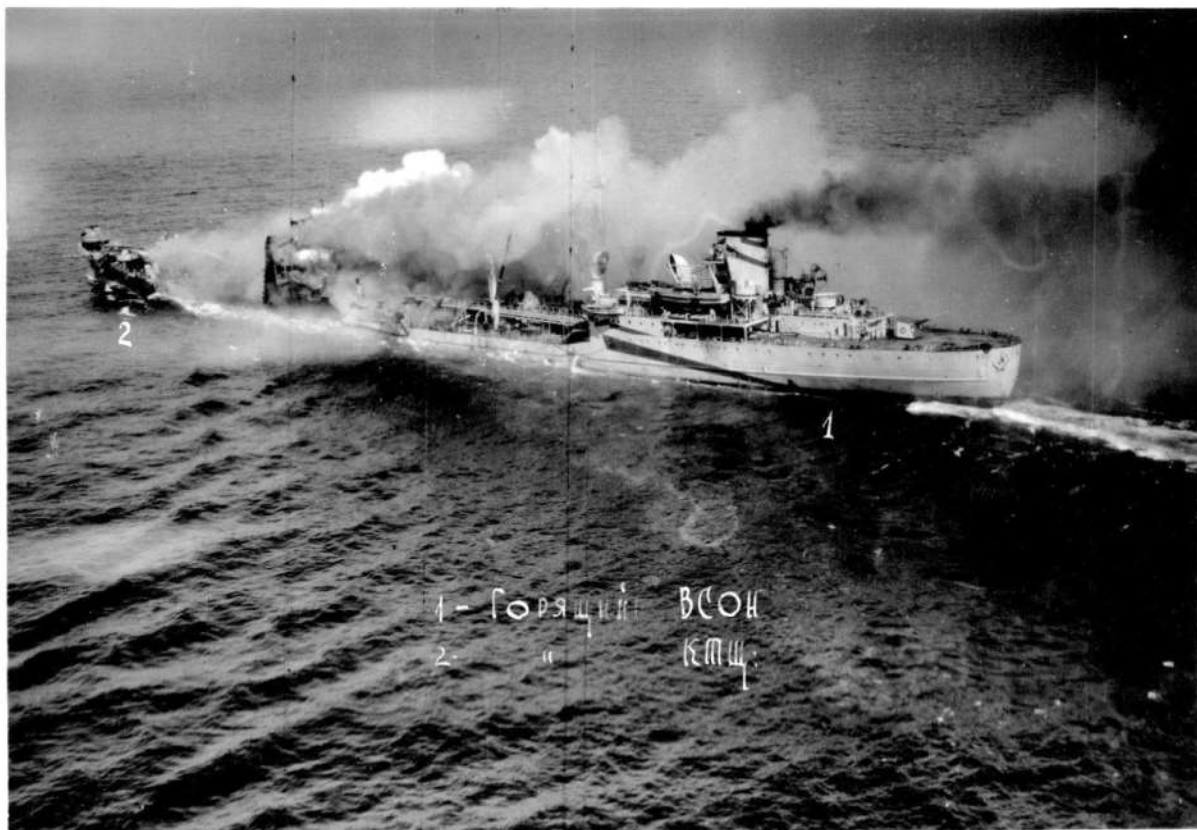
- 700–800 ton HFO (Heavy Fuel Oil – Ciężki Olej Opałowy)
- Charakterystyka: Gęste, osadzą się na dnie, powolne wycieki przez dziesięciolecia

Paliwa lekkie (wysokie zagrożenie dla wód powierzchniowych)

- ~300 ton MDO/LDO (Marine Diesel Oil / Light Diesel Oil) w zbiornikach przeznaczonych na potrzeby własne

- Charakterystyka: Podlegają szybszemu rozprzestrzenianiu się w kolumnie wody, mogą utworzyć rozległy film paliwowy

Wrak zawiera niewybuchy, ale ryzyko jest uznawane za możliwe do opanowania przy odpowiednich środkach ostrożności.



Rysunek 4 T/S Franken w kilka minut po krytycznym trafieniu bombami lotniczymi. Widać oderwaną i już tonącą część dziobową okrętu oraz ogarniętą pożarem nadbudówkę główną. Widać również po lewej burcie rozlewającą się szybko plamę paliwa z uszkodzonych zbiorników

3.3.2 Obawy Ekologiczne i Historyczne

Głównym problemem jest potencjalny wyciek paliwa ze zbiorników, który może zanieczyścić powierzchnię morza (LDO) oraz dno morskie (HDO, HFO). Wartość historyczna wraku jako artefaktu II wojny światowej czyni go istotnym obiektem dla badaczy i nurków.

Zapasy amunicji na T/S Franken przed zatonięciem:

Amunicja transportowana

- Całkowita pojemność: ~1000 ton różnych typów amunicji
- Użyczenie własne + ładunek transportowy
- Stan przed zatonięciem: Niepełne – wiele przeniesiono na inne jednostki (5-6 kwietnia)

Operacje zasilania amunicją (5-6 kwietnia)

- 5 kwietnia: 40 pocisków kal. 203 mm do Prinz Eugena (via kuter KFK)

- 5 kwietnia: Cały zapas pocisków kal. 280 mm do Lützowa (ilość nieznana, przeznaczenie: zaopatrzenie na wojnę)

- 6 kwietnia: Franken przejmując amunicję z transportowca "Orestes" (mimo rozkazu SKL z 4 kwietnia o ograniczeniu transferów). Powód: Wspieranie mniejszych jednostek ostrzeliwujących garnizony niemieckie na Helu.

Amunicja pozostałej na Franken (6 kwietnia)

- Szacunkowe zapasy pobrane: minimum 1200 szt. kal. 127 mm, 1200 szt. kal. 150 mm, 4800 szt. kal. 105 mm

- Brakujące: Ciężkie kaliber 203 mm i 280 mm (już wycofane)

- Stan w dniu zatopienia (8 kwietnia): Nieznana ilość pozostałej w magazynach amunicji. Prawdopodobnie wzrost z powodu eksplozji i rozprzestrzenienia

Zagrożenie w dniu zatopienia

- Gdy Franken zatonął, nie prowadzono dalszych operacji zasilania amunicją.

- Na dnie wraku pozostały magazyny z niewiadomą ilością amunicji przeznaczonej do obrony (przeciwlotnicze, przeciwokrętowe).



Rysunek 5 Z lewej: zdjęcie przedstawia eksplozję wtórną na pokładzie tonącego Frankena (w prawym górnym rogu widoczna jest kula ognia), która mogła doprowadzić do rozszczelnienia pozostałych zbiorników z paliwem poprzez przeniesienie siły wybuchu po grodziach wzdłużnych w stronę rufy. Z prawej: Na zdjęciu powyżej widać ostatnie chwile tonącego Frankena (nad powierzchnię wody wystaje tylko rufa) i sporych rozmiarów słup dymu

Nie można oszacować ilości amunicji średniego kalibru w ładowniach Frankena. Raport oficerów wskazuje, że pożar na środkowym pokładzie głównym objął skład amunicji i nie został ugaszony przed ewakuacją załogi. Świadkowie zatonięcia donoszą o wtórnych eksplozjach (nieustalonego pochodzenia – paliwo lub amunicja), co potwierdzają zdjęcia z okrętów ratunkowych. Nie wiadomo, jaka część amunicji została zniszczona lub rozrzucona wokół tonącego okrętu. Prawdopodobnie pociski rozrzucone w trakcie wybuchu składu amunicji leżą na dnie w innej pozycji niż pozycja zatonięcia. Pewne jest, że z powodu pożaru zalano tylne pomieszczenia amunicyjne w części V, którym groziła eksplozja.

T/S Franken był uzbrojony w: 3 armaty kalibru 150 mm, 6 armat przeciwlotniczych 37 mm, 16 działek kalibru, 20 mm oraz 1 wyrzutnię rakiet kierowanych przewodowo do zwalczania samolotów nisko lecących.

W związku z tym możemy określić maksymalny zapas amunicji na własny użytek, jaki okręt mógł posiadać. Ponieważ nigdy nie był przeznaczony do zwalczania innych celów niż atakujące go samoloty, do obrony *Franken* mógł posiadać w magazynach tylko amunicję przeciwlotniczą w maksymalnej ilości:

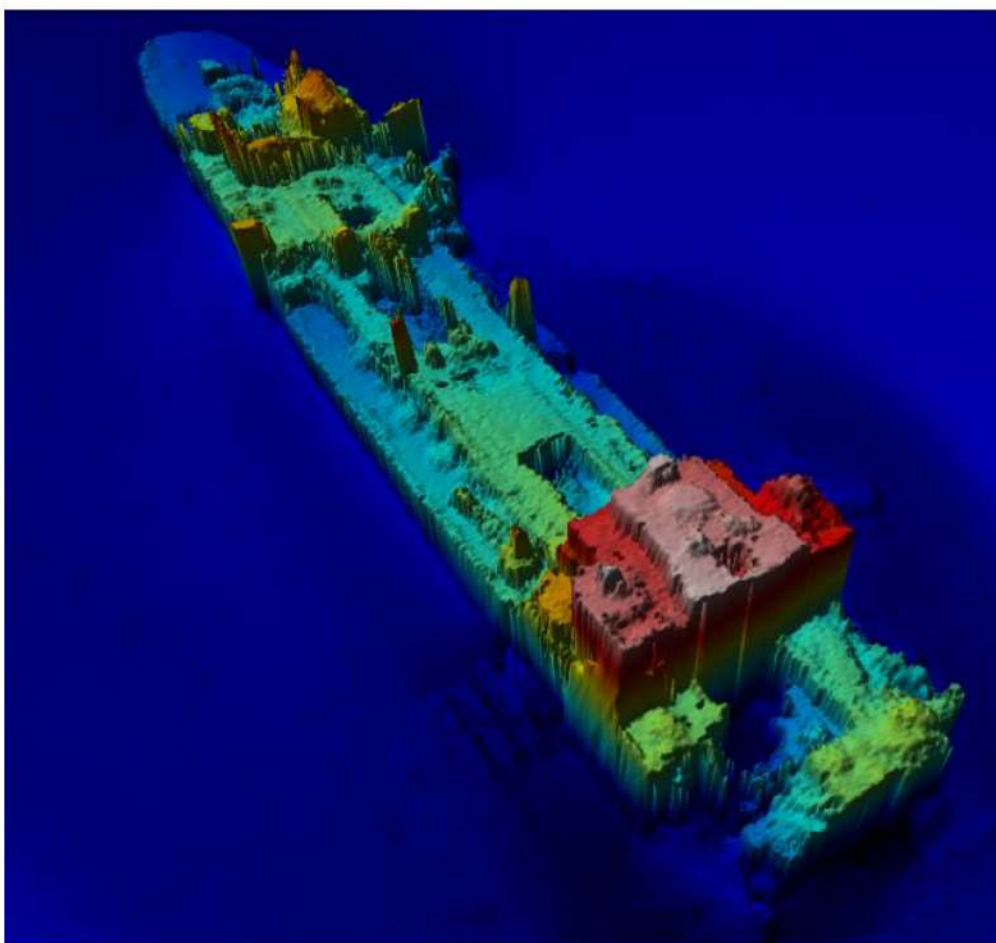
- 3× 200 (czyli 600) pocisków kalibru 150 mm,
- 6× 2000 (czyli 12000) pocisków kalibru 37 mm,
- 16× 2000 (czyli 32000) pocisków kalibru 20 mm,
- 8 rakiet kierowanych przewodowo

Jest wielce prawdopodobne i w zasadzie należy przyjąć to za pewnik, że amunicja niezbędna do obrony własnej pozostała na zatopionym okręcie (poza tą która została rozrzucona przy wybuchu jednego z magazynów). Potwierdzają to fotografie podwodne barbetów wszystkich trzech dział kalibru 150 mm ze stojącymi w rzędzie pociskami, wykonane przez p. Tomasza Trojanowicza podczas ekspedycji Fundacji MARE w 2018 roku.

Pewne jest, że jakaś część znajdującej się na *Frankenie* amunicji została wykorzystana w trakcie obrony w dniu zatopienia. Ponadto relacje świadków są zgodne, że tonącą jednostką wstrząsały eksplozje wtórne (nie jest ustalone, czy paliwa, czy też amunicji). W związku z tym nie wiadomo jaka część amunicji uległa zniszczeniu, a jaka rozrzuceniu wokół tonącego okrętu w wyniku wybuchów.

W związku z tym niemożliwa do oszacowania jest realna ilość amunicji przeciwlotniczej, która może nadal znajdować się w magazynach *Frankena*.

Dobra wiadomość jest taka, że w odróżnieniu od amunicji średniego kalibru przeznaczonej dla niszczycieli posiadającej w znaczącej większości zapalniki uderzeniowe (które mogą po latach spędzonych pod wodą stanowić zagrożenie w pewnych bardzo ściśle określonych przypadkach), amunicja przeciwlotnicza zalegająca na *Frankenie* posiada zapalniki czasowe i nie stanowi bezpośredniego zagrożenia z powodu specyficznego rodzaju jej aktywacji (aktywacja przyspieszeniem po wystrzeleniu).



Rysunek 6

Obraz wraku wykonany w oparciu o dane z echosondy wielowiązkowej źródło: Instytut Morski w Gdańsku 2018

Raporty różnią się co do dokładnej ilości amunicji i paliwa przy zatopieniu. Z raportu z marca 1945 roku wynika, że 29 marca statek miał 1 411 pocisków 127 mm, ale przy zatopieniu szacuje się, że pozostało 600 pocisków 150 mm i 1 750 pocisków 127 mm, co sugeruje możliwe przyjęcie dodatkowych zapasów lub błąd w dokumentacji. Paliwo przy zatopieniu szacowano na 700–800 ton (około 823–941 m³, przy założeniu gęstości 0,85 t/m³), co jest spójne z wcześniejszym zapisem 3 136 m³ między 29 marca a 8 kwietnia, oraz spadkiem zapasów prawdopodobnie wskutek dystrybucji do innych jednostek



Rysunek 7 Na zdjęciu powyżej doskonale widoczny jest gęsty tuman dymu z płonącej plamy paliwa w miejscu zatonięcia Frankena (oznaczony cyfrą 2) niemalże dobę po jego zatopieniu. Stanowi ono bardzo wyraźny dowód na to, że paliwo wydostawało się z uszkodzonych zbiorników zatopionego statku i zasilalo płonącą na powierzchni plamę ropy przez co najmniej kolejną dobę. Jest to cenna informacja z punktu oceny ilości paliwa, które mogło pozostać ewentualnie na wraku.

3.4 Wnioski

T/S Franken był niezastąpionym elementem operacji Kriegsmarine na Morzu Bałtyckim w ostatnich miesiącach II wojny światowej. Jego zatonięcie 8 kwietnia 1945 roku zakończyło służbę, ale wrak pozostaje ważnym artefaktem historycznym. Współczesne zarządzanie miejscem musi równoważyć ochronę środowiska, badania historyczne i dostęp publiczny, aby zachować dziedzictwo okrętu i zminimalizować ryzyko ekologiczne.

3.5 Nowe Ustalenia z Archiwów

Analiza odszyfrowanych raportów ULTRA potwierdza, że w dniach poprzedzających zatonięcie T/S Franken intensywnie przekazywał zapasy paliwa i amunicji innym jednostkom. Raporty z 1 kwietnia 1945 roku wskazują na krytycznie niskie zapasy paliwa w regionie Helu (2500 m³ oleju napędowego i 500 m³ ciężkiego oleju napędowego), co podkreśla poważne wyczerpanie zasobów okrętu.

3.5.1 Grupa Bojowa Thiele w Zatoce Gdańskiej w 1945 roku

W końcowych miesiącach II wojny światowej, w 1945 roku, niemiecka Grupa Bojowa Thiele odgrywała istotną rolę w operacjach obronnych i ewakuacyjnych w Zatoce Gdańskiej przeciwko nacierającym siłom sowieckim. Niniejszy rozdział, oparty na raporcie *Raport o paliwach używanych przez jednostki Grupy bojowej Thiele w Zatoce Gdańskiej* oraz dodatkowych źródłach historycznych, przedstawia szczegółowy opis jednostek tworzących tę grupę, używanych przez nie paliw, ich uzbrojenia, amunicji, a także dobowego zużycia paliwa. Rozdział kończy się ujednoliconym wykazem literatury w formacie APA, posortowanym alfabetycznie.

3.5.2 Jednostki Grupy Bojowej Thiele

Grupa Bojowa Thiele była zróżnicowaną formacją morską, skupioną wokół statku zaopatrzeniowego *T/S Franken*, który pełnił funkcję logistycznego centrum dla dwóch grup uderzeniowych. Poniżej przedstawiono główne jednostki wraz z ich rolami, charakterystyką i szacunkowym dobowym zużyciem paliwa przy prędkości 15 węzłów:

- **Krążownik Prinz Eugen** (Ciężki Krążownik Klasy Admiral Hipper)
 - Napęd: Turbiny parowe wysokociśnieniowe
 - Paliwa: HFO (główne), MDO (generatory)
 - Pojemność paliwa: ~3200 ton (1426 t HFO + 1420 t MDO)
 - Zasięg: ~6800 mil morskich (przy 19 węzłach)
 - Zużycie paliwa: ~112 ton/dzień HFO (przy 15 węzłach)
 - Rola operacyjna: Główna jednostka ofensywna – bombardowanie pozycji lądowych, ochrona konwojów

Źródło danych: Admiral Hipper-class cruiser specifications

- **Torpedowiec Panther** (Niszczyciel Klasy Zerstörer 1934 – potencjalna klasyfikacja)
 - Napęd: Turbiny parowe
 - Paliwo: HFO/MDO
 - Pojemność paliwa: ~752 ton
 - Pojemność użyteczna: ~527 ton (70% ze względu na problemy ze stabilnością)
 - Zasięg: ~4400 mil morskich (przy 19 węzłach, przy pełnym zasobem)
 - Praktyczny zasięg: ~3100 mil morskich (przy 70% pojemności)
 - Zużycie paliwa: ~27 ton/dzień HFO (przy 15 węzłach)
 - Rola operacyjna: Szybkie manewry, patrole, eskorta konwojów

Źródło danych: Type 1934 destroyers specifications

- **Trałowce: M15, M18, M29** (Klasa M1935)
 - Typ: Trałowiec do usuwania min morskich
 - Napęd: Silniki parowe
 - Kotły: Opalane olejem (HFO)
 - Pojemność paliwa (każdy): 100–150 ton
 - Zasięg: Krótkie operacje w rejonie Baltyku
 - Zużycie paliwa: ~15 ton/dzień HFO (każdy, przy 15 węzłach)
 - Razem trzy jednostki: ~45 ton/dzień HFO
 - Rola operacyjna: Usuwanie min morskich z tras operacyjnych, zabezpieczenie konwojów

Źródło danych: M-class minesweeper specifications

- **Tankowiec Breitgrund:**
 - Przeznaczenie: Transport HFO i MDO dla wsparcia logistyki Grupy Bojowej
 - Napęd: Silniki parowe/diesle spalające HFO
 - Pojemność ładunkowa: Nieznana (brak dokładnych danych archwalnych)
 - Rozkład paliwa: Całość HFO + MDO w proporcjach nieznanym
 - Szacunkowe zużycie paliwa: ~30 ton/dzień HFO (przy 15 węzłach)
 - Dane: Szacunkowe, oparte na parametrach jednostek porównawczych
 - Rola operacyjna: Transport paliwa – uzupełnianie *T/S Frankena* i innych jednostek
 - Status: Brakujące pełne dane techniczne – wymaga dalszych poszukiwań w archiwach
- **Łódź patrolowa V1706:** Łódź patrolowa (Vorpostenboot), zazwyczaj przystosowana z cywilnych jednostek, napędzana silnikiem diesla. Miała małą pojemność paliwa (20–50 ton), odpowiednią dla operacji przybrzeżnych w rejonie Gdyni i Helu. Szacunkowe dzienne zużycie paliwa przy prędkości 15 węzłów wynosiło około 5 ton oleju napędowego.
- **Zaopatrzeniowiec T/S Franken:** Statek zaopatrzeniowy, kluczowy dla logistyki grupy, zdolny do przewozu do 9500 ton paliwa i 306 ton olejów smarowych. W momencie zatopienia 8 kwietnia 1945 roku przez

sowieckie lotnictwo w pobliżu Helu przewoził około 300 ton paliwa (jego zbiorniki zawierały paliwo dla własnych potrzeb oraz tzw. paliwo nieodpompowalne w ilości ok. 150-500 ton). Szacunkowe dzienne zużycie paliwa przy prędkości 15 węzłów wynosiło około 50 ton HFO.

Tabela 3 Tabela jednostek i ich pojemności paliwa

Jednostka	Typ	Paliwo	Pojemność paliwa (ton)	Zasięg (mil morskich)
Prinz Eugen	Ciężki krążownik	HFO/MDO	~3200 (1426 HFO +1420 MDO)	~6800 (19 węzłów)
Panther	Niszczyciel	MDO/MDO	~752 (527 użyteczna - 70%)	~4400 (19 węzłów)
M15	Trałowiec	MDO	~100–150	Krótkie operacje
M18	Trałowiec	MDO	~100–150	Krótkie operacje
M29	Trałowiec	MDO	~100–150	Krótkie operacje
Breitgrund	Tankowiec	HFO	Brak danych	Brak danych
V1706	Łódź patrolowa	Olej napędowy	~20–50	Operacje przybrzeżne
T/S Franken	Statek zaopatrzeniowy	HFO	~9500	Brak danych

Uwaga: Dane o zużyciu paliwa są szacunkowe, oparte na analizie podobnych klas okrętów, z uwagi na brak precyzyjnych informacji w źródłach.

3.5.3 Paliwa

Paliwa stosowane przez jednostki Grupy Bojowej Thiele zależały od ich wielkości i systemów napędowych. Rodzaj paliwa jakiego potrzebowały charakteryzuje rodzaj paliwa jakie musiał posiadać statek zaopatrzeniowy FRANKEN. Poniżej przedstawiono szczegóły:

Tabela 4 Rodzaje paliw używanych przez okręty grupy Thiele

Jednostka	Typ	Paliwo
Prinz Eugen	Ciężki krążownik	Ciężki olej opałowy (HFO)/Olej napędowy (MDO)
Panther	Niszczyciel	Ciężki olej opałowy (HFO)/Olej napędowy (MDO)
M15, M18, M29	Trałowce	Ciężki olej opałowy (HFO)/Olej napędowy (MDO)
Breitgrund	Tankowiec	HFO (do transportu i napędu)
V1706	Łódź patrolowa	Olej napędowy
T/S Franken	Statek zaopatrzeniowy	MDO (HFO do zaopatrzenia i MDO napędu)

- Ciężki olej opałowy (HFO): Używany przez większe okręty (*Prinz Eugen*, *Panther*, trałowce, *Breitgrund*, *T/S Franken*) ze względu na napęd turbinami parowymi lub silnikami parowymi, wymagający paliwa o wysokiej wartości energetycznej. HFO był paliwem o wysokiej lepkości, zapewniającym wysoką wydajność energetyczną, ale wymagającym zaawansowanych silników parowych lub turbinowych.
- Olej napędowy: Stosowane w mniejszych okrętach, takich jak torpedowce, trałowce, łodzie patrolowe oraz okręty podwodne (U-Booty) podczas operacji na powierzchni. Diesel był lżejszym destylatem, bardziej odpowiednim dla silników spalinowych takie jak *V1706*, wyposażone w silniki diesla, bardziej efektywne dla krótkich operacji przybrzeżnych.
- Oleje smarowe: Używane jako dodatki do utrzymania maszyn, szczególnie w większych okrętach. *T/S Franken* przewoził 306 ton olejów smarowych w momencie zatopienia.
- Logistyka paliwowa: Tankowiec *Breitgrund* i statek *T/S Franken* odgrywały kluczową rolę w dostarczaniu paliw. Zatopienie *Frankena* 8 kwietnia 1945 roku przez sowieckie lotnictwo znacząco wpłynęło na zdolności operacyjne grupy, powodując niedobory paliwa.

Charakterystyka paliw

- HFO: Tani i wydajny, ale trudny w obsłudze ze względu na wysoką lepkość. Wymagał podgrzewania przed użyciem w silnikach. Był standardem dla dużych okrętów, takich jak „Prinz Eugen”, ze względu na ekonomię i dostępność.
- Paliwo diesel: Lżejsze, łatwiejsze w obsłudze i bardziej efektywne dla szybkich jednostek. Używane w silnikach dieslowskich, które były niezawodne i wymagały mniej skomplikowanej infrastruktury niż silniki na HFO.
- Oleje smarowe: Kluczowe dla utrzymania sprawności maszyn, szczególnie w dużych okrętach, gdzie zużycie mechaniczne było wysokie.

Brak precyzyjnych danych na temat ilości paliwa dla każdej jednostki wynika z utraty dokumentacji w chaosie końcowych miesięcy wojny. Wnioski oparto na ogólnych standardach Kriegsmarine i klasyfikacji okrętów.

3.5.4 Uzbrojenie i amunicja

Informacje na temat uzbrojenia i amunicji są ograniczone głównie do ciężkiego krążownika *Prinz Eugen*, dla którego dostępne są szczegółowe dane:

- Prinz Eugen: Wyposażony w główne działa kalibru 20,3 cm oraz drugorzędne kalibru 10,5 cm. Podczas operacji na Bałtyku w 1945 roku:
 - W styczniu 1945 roku, wspierając obronę Królewca, wystrzelił 871 pocisków kalibru 20,3 cm w rejonie Samlandu.
 - W marcu 1945 roku, od 10 marca, pod tymczasowym dowództwem wiceadmirała Bernharda Rogge, ostrzeliwał pozycje sowieckie w rejonie Gdańska, Gdyni i Helu, wystrzeliwując 2025 pocisków kalibru 20,3 cm oraz 2446 pocisków kalibru 10,5 cm.

Dla pozostałych jednostek, takich jak *Panther*, trałowce (*M15*, *M18*, *M29*), *Breitgrund*, *V1706* czy *T/S Franken*, raport nie zawiera szczegółowych informacji na temat uzbrojenia ani amunicji. Można przypuszczać, że:

- Niszczyciele, takie jak *Panther*, były wyposażone w działa mniejszego kalibru (np. 127 mm) oraz torpedy, typowe dla klasy Zerstörer (Type 1934 destroyers).
- Trałowce i łodzie patrolowe miały lżejsze uzbrojenie, takie jak działa przeciwlotnicze lub karabiny maszynowe, odpowiednie do ich ról w usuwaniu min i patrolach (M-class minesweeper).
- Jednostki logistyczne, takie jak *Breitgrund* i *T/S Franken*, nie były okrętami bojowymi, ale transportowały amunicję i zaopatrzenie, w tym 300 ton paliwa i 306 ton olejów smarowych na *Frankenie* w momencie zatopienia.

Brak szczegółowych danych o uzbrojeniu innych jednostek wskazuje na potrzebę dalszych badań archiwalnych.

3.5.5 Inne istotne informacje

Kontekst operacyjny

Grupa Bojowa Thiele działała w Zatoce Gdańskiej w okresie intensywnych walk podczas sowieckiej Operacji Pomorskiej w 1945 roku. Region ten był kluczowym obszarem konfliktu, gdzie Kriegsmarine zmagала się z przewagą sowieckich sił powietrznych i morskich. Główne cele grupy obejmowały:

- Zapewnienie wsparcia artyleryjskiego dla niemieckich sił lądowych, szczególnie w rejonie Królewca, Gdańska, Gdyni i Helu.
- Utrzymanie linii zaopatrzenia dla floty i sił lądowych.
- Wsparcie ewakuacji niemieckich wojsk i cywilów w ramach Operacji Hannibal, określanej czasem jako „niemiecka Dunkierka”.

Wyzwania operacyjne

Grupa napotykała liczne trudności, w tym:

- Niedobory paliwa: Spowodowane alianckimi bombardowaniami infrastruktury paliwowej oraz zatopieniem *T/S Franken*, co ograniczyło zdolności operacyjne większych okrętów.
- Sowieckie ataki powietrzne i morskie: Stałe zagrożenie ze strony sowieckiego lotnictwa, które zatopiło *Frankena* i inne jednostki.
- Chaos logistyczny: Utrata dokumentacji i trudności w koordynacji w końcowej fazie wojny utrudniały efektywne działanie.

Kluczowe wydarzenia

- Zatopienie *T/S Franken*: 8 kwietnia 1945 roku statek został zatopiony przez sowieckie lotnictwo w pobliżu Helu, przewożąc od 800 do 2700 ton ładunku (brak potwierdzonych danych – skłaniamy się raczej ku 800 tonom), oraz 300 ton paliwa dla potrzeb własnych i 306 ton olejów smarowych. To wydarzenie było punktem zwrotnym, który znacząco osłabił zdolności logistyczne grupy.
- Wycofanie *Prinz Eugena*: Z powodu braku paliwa po zatopieniu *Frankena* ciężki krążownik został zmuszony do wycofania się, co ograniczyło możliwości bojowe grupy.

Dowództwo

- Grupa była dowodzona przez wiceadmirala Augusta Thiele od marca 1944 do kwietnia 1945 roku.
- W okresie od 10 do 22 marca 1945 roku dowództwo tymczasowo objął wiceadmiral Bernhard Rogge, który nadzorował operacje w kluczowym okresie walk w rejonie Gdańska.

Ograniczenia danych

Brak precyzyjnych danych na temat typów i ilości paliwa dla każdej jednostki, co wynika z utraty dokumentacji w chaosie końcowych miesięcy wojny. Podobnie ograniczone są informacje o uzbrojeniu i amunicji dla jednostek innych niż *Prinz Eugen*. Wnioski oparto na ogólnych standardach Kriegsmarine i klasyfikacji okrętów, co wskazuje na potrzebę dalszych badań archiwalnych.

Wnioski

Grupa Bojowa Thiele była zróżnicowaną formacją morską, obejmującą jednostki od ciężkich krążowników po małe łodzie patrolowe, z których każda miała specyficzne wymagania paliwowe i role operacyjne. Logistyczne wsparcie zapewniane przez statki takie jak *T/S Franken* było kluczowe dla utrzymania zdolności bojowych grupy, a jego zatopienie stanowiło punkt zwrotny w operacjach. Uzbrojenie, szczególnie *Prinz Eugena*, odegrało istotną rolę we wsparciu operacji lądowych poprzez ostrzał artyleryjski. Ograniczone dane na temat uzbrojenia innych jednostek oraz ilości paliwa wskazują na potrzebę dalszych badań w celu pełniejszego zrozumienia wyposażenia i logistyki grupy.

Literatura

Książki

1. Bekker, C. (1977). *Hitler's Naval War*. New York: Zebra Books.
2. Breyer, S. (1990). **Marine-Arsenal - 012 - Panzerschiff - Schwerer Kreuzer Admiral Scheer**. Friedberg: Podzun-Pallas-Verlag.
3. Breyer, S. (1989). *The German Aircraft Carrier Graf Zeppelin*. Pennsylvania: Schiffer Publishing.
4. Breyer, S. (1994). **Die Deutsche Kriegsmarine 1935-1945, Band 2**. Augsburg: Weltbild Verlag.
5. Dallies-Labourdette, J.-P. (2003). **S-Boote: German E-boats in Action 1939–1945**. Paris: Histoire & Collections.
6. Danielewicz, W., & Skwiot, M. (1997). **EOW 7. Pancerniki kieszonkowe cz.1- Deutschland/Lützow**. Gdańsk: Wydawnictwo Lampart.
7. Danielewicz, W., & Skwiot, M. (1998). **EOW 8. Pancerniki kieszonkowe cz.2- Admiral Graf Spee, Admiral Scheer**. Gdańsk: Wydawnictwo Lampart.

8. Danielewicz, W., & Skwiot, M. (1999). *EOW 9. Pancerniki kieszonkowe cz.3- Deutschland/Lützow, Admiral Graf Spee, Admiral Scheer*. Gdańsk: Wydawnictwo Lampart.
9. Gröner, E. (1986). *Die deutschen Kriegsschiffe 1815-1945, Band 2*. Koblenz: Bernard & Graefe Verlag.
10. Gröner, E. (1986). *Die deutschen Kriegsschiffe 1815-1945, Band 4*. Koblenz: Bernard & Graefe Verlag.
11. Grooss, P. (2014). *The Naval War in the Baltic 1939-1945*. Barnsley: Seaforth Publishing.
12. Grooss, P. (2017). *The Naval War in the Baltic, 1939–1945*. Barnsley: Seaforth Publishing.
13. Hildebrand, H. H., Röhr, A., & Steinmetz, H.-O. (1990). *Die Deutschen Kriegsschiffe: Biographien – ein Spiegel der Marinegeschichte von 1815 bis zur Gegenwart*. Hamburg: Mundus Verlag.
14. Jackson, R. (2007). *Battle of the Baltic: The Wars 1918–1945*. Barnsley: Pen & Sword Maritime.
15. Jung, D., Abendroth, A., & Kelling, N. (1997). *Anstriche und Tarnanstriche der deutschen Kriegsmarine*. Bonn: Bernard & Graefe Verlag.
16. Kieser, E. (1984). *Danziger Bucht 1945 - Dokumentation Einer Katastrophe*. München: Universitas.
17. Kieser, E. (2003). *Zatoka Gdańska 1945: Dokumentacja dramatu*. Warszawa: Oskar.
18. Kieser, E. (2012). *Zatoka Gdańska 1945: Dokumentacja dramatu*. Warszawa: Świat Książki.
19. Koburger, C. (1994). *Naval Warfare in the Baltic, 1939–1945: War in a Narrow Sea*. Westport: Praeger.
20. Koop, G., & Schmolke, K.-P. (1992). *Die Schwere Kreuzer der Admiral Hipper-Klasse*. Bonn: Bernard & Graefe Verlag.
21. Koop, G., & Schmolke, K.-P. (2014). *German Destroyers of World War II*. Barnsley: Seaforth Publishing.
22. Koop, G., & Schmolke, K.-P. (2014). *Pocket Battleships of the Deutschland Class*. Barnsley: Seaforth Publishing.
23. Kosiarz, E. (1985). *Bałtyk w ogniu*. Gdańsk: Wydawnictwo Morskie.
24. Kosiarz, E. (1988). *Druga wojna światowa na Bałtyku*. Gdańsk: Wydawnictwo Morskie.
25. Kosiarz, E. (1988). *Wojna na Bałtyku 1939*. Gdańsk: Wydawnictwo Morskie.
26. Lipiński, J. (1995). *Druga wojna światowa na morzu*. Warszawa: Wydawnictwo Lampart.
27. Mallmann, J. (2002). *German Navy Handbook 1939-1945*. Stroud: Sutton Publishing.
28. Paterson, L. (2015). *Steel and Ice: The U-boat Campaign in the Black Sea 1942–1944*. Annapolis, MD: Naval Institute Press.
29. Pertek, J. (1989). *Na Bałtyku, w Arktyce i na Morzu Czarnym*. Poznań: Wydawnictwo Poznańskie.
30. Porter, D. (2005). *World War II Data Book: The Kriegsmarine 1935–1945*. London: Amber Books.
31. Prince, C. J. (2012). *Death in the Baltic*. New York: Palgrave Macmillan.
32. Rohwer, J., & Hümmelchen, G. (2005). *Chronology of the War at Sea 1939–1945: The Naval History of World War Two* (wyd. 3). Annapolis, MD: Naval Institute Press.
33. Röhr, A. (red.). *Die Deutsche Kriegsmarine 1935–1945*. [brak wydawcy i roku].
34. Ropelewski, A. (1978). *Rybacy w cieniu krążowników 1939-1945*. Gdańsk: Wydawnictwo Morskie.
35. Schmidtke, M. (2006). *Rettungsaktion Ostsee 1944/1945*. Bonn: Bernard & Graefe Verlag.
36. Schön, H. (1995). *Flucht über die Ostsee 1944-45 im Bild*. Stuttgart: Motorbuch Verlag.
37. Schön, H. (2004). *Die Tragödie der Flüchtlingsschiffe. Gesunken in der Ostsee 1944–45*. Stuttgart: Motorbuch Verlag.
38. Tarrant, V.E. (2001). *Ostatni rok Kriegsmarine: maj 1944 – maj 1945*. Warszawa: Bellona.
39. Tooze, A. (2006). *The Wages of Destruction: The Making and Breaking of the Nazi Economy*. London: Penguin Books.
40. Williamson, G. (2002). *Hitler's Navy: The Kriegsmarine in World War II*. Oxford: Osprey Publishing.
41. Williamson, G. (2003). *Kriegsmarine Auxiliary Cruisers*. Oxford: Osprey Publishing.

Artykuły naukowe

42. Damiński, S. (2014). Ciężki krążownik "Lützow". *Okręty*, 34, 4.

43. German Naval Support Techniques In World War II. (1954). *Proceedings of the U.S. Naval Institute*, 80(3), 613–622.
44. Kardas, M. (2011). Okupacja hitlerowska Helu. Wybrane aspekty. *Zeszyty Naukowe AMW*, 185(2).
45. Nowak, G. (2011). Ciężki krążownik „Prinz Eugen”. *Okręty*, 1(3).
46. Pacholski, Ł. (2014). Historia Prinza Eugena. *Morze Statki i Okręty*, 149, 09–10.
47. Pastwa, D. (2015). Dwa U-booty Jimmiego Laundersa. *Okręty*, 42(6).
48. Patjanin, S.W. (2009). Niszczyciele typu 'Leberecht Mass'. *Okręty Wojenne*, Specjalny 28.
49. Perepeczko, A. (2004). Niemieckie krążowniki typu Admiral Hipper cz.3. *EOW*, 35.
50. Schmalenbach, D.P. (1971). KM Prinz Eugen: Heavy Cruiser 1938-1947. *Warship Profile*, 6.
51. Sobański, M.S. (2000). Niemieckie niszczyciele typu Narvik. *Okręty Świata*, 11.
52. Sobański, M.S. (2018). Krążowniki typu „Admiral Hipper” cz.I. *Okręty Wojenne*, Specjalny 65.
53. Sobański, M.S. (2018). Krążowniki typu „Admiral Hipper” cz.II. *Okręty Wojenne*, Specjalny 66.

Źródła archiwalne i bazy danych

54. Bundesarchiv-Militärarchiv. Freiburg. Adres: Wiesentalstraße 10, 79115 Freiburg im Breisgau, Niemcy. Strona: www.bundesarchiv.de.
55. Forum Marinearchiv. www.forum-marinearchiv.de.
56. Historisches Marinearchiv. www.historisches-marinearchiv.de.
57. Miramar Ship Index. www.miramarshipindex.nz.

Dokumenty archiwalne i źródła pierwotne

58. Bauvorschrift für den Maschinenanlage des Trossschiffes „Franken”. (cyfrowa kopia w posiadaniu autora).
59. Bauvorschrift für den Schiffskörper des Trossschiffes „Franken”. (cyfrowa kopia w posiadaniu autora).
60. *KTB des Zerstörers Z 43 za okres 5-8 kwietnia 1945*. (odpis cyfrowy).
61. Meldunek o stanie zapasów paliwa Frankena na dzień 29 marca 1945 roku. The National Archives (cyfrowa kopia).
62. Raport oficera mechanika i oficera zabezpieczenia dotyczący zatonięcia „Franken” (8 kwietnia 1945).
63. SKL KTB 30.03.1945. (cyfrowa kopia).
64. SKL KTB 03.04.1945. (cyfrowa kopia).
65. SKL KTB 04.04.1945. (cyfrowa kopia).
66. T/S Altmark Schiffbauplan Kriegsmarine. (cyfrowa kopia).
67. Wspomnienia starszego marynarza Erharda Krybusa. (odpis cyfrowy).

Raporty i opracowania

68. Hac, B. (2015). T/S FRANKEN - W oczekiwaniu na katastrofę ekologiczną. Prezentacja.
69. Hac, B. (2018). *Wstępny Plan oczyszczania wraku T/S Franken*. Raport Fundacji MARE i I.M. w Gdańsku.
70. Pastwa, D. (2015). *Znane i nieznanne wraki okolicy Helu*. Prezentacja Baltic-tech.
71. Pastwa, D. (2019). Franken - Raport dla Urzędu Morskiego w Gdyni. Elbląg.
72. Pastwa, D. (2021). Franken - aneks do raportu dla Urzędu Morskiego w Gdyni. Elbląg.

Źródła internetowe

73. Deutschland-class.dk. *Admiral Scheer Operation History*. [Link](#).
74. Deutschland-class.dk. *Deutschland/Lützow Operation History*. [Link](#).
75. Grządziel, A. (2007). *Badania hydrograficzne wraku Franken – dZHMW*. [Opracowanie internetowe].
76. Tomica, I., & Karaś, P. (2018). *Franken – ostatnie dni okrętu Kriegsmarine*. [Opracowanie internetowe].
77. Trojmiasto.wyborcza.pl. *Niemiecki tankowiec nie taki straszny*. [Link](#).

78. Wio.ru. *Sunk ships in the Baltic*. [Link](#).

79. Wikipedia. *German cruiser Prinz Eugen*. [Link](#).

4 Szacowanie materiałów konstrukcyjnych statków klasy Dithmarschen

4.1 Najważniejsze założenia

- Statki klasy Dithmarschen, takie jak T/S Franken, Dithmarschen, Westerwald, Ermland i Altmark/Uckermark, były prawdopodobnie zbudowane ze stali okrętowej SCHIFFBAUSTAHL "Ste. 52".
- Typowa grubość poszycia kadłuba dla tankowców i statków zaopatrzeniowych o wyporności około 22 000 ton w latach 30. i 40. XX wieku wynosiła od 15 do 25 mm, z grubszymi płytami na kilu i dnie.
- Dokładne dane dotyczące grubości poszycia, wręg, pokładów czy rozstawu wręg dla tych statków są trudne do znalezienia w dostępnych źródłach online i mogą wymagać dodatkowego dostępu do archiwów historycznych w sytuacji gdyby zaistniała taka potrzeba. Prawdopodobnie część tych informacji może być dostępna w archiwum we Freiburgu.
- Inne statki o podobnej wielkości z tego okresu, takie jak tankowce T2, miały porównywalne grubości poszycia, co pozwala na oszacowanie parametrów dla klasy Dithmarschen.

4.2 Materiały konstrukcyjne

Badania wskazują, że statki klasy Dithmarschen były prawdopodobnie zbudowane z użyciem stali SCHIFFBAUSTAHL "Ste. 52", standardowej stali okrętowej stosowanej w Niemczech w latach 1935–1945 dla dużych statków, torpedowców i okrętów podwodnych. Właściwości tej stali obejmują:

- Wytrzymałość na rozciąganie: około 74 ksi (510 MPa).
- Granica plastyczności: około 51 ksi (352 MPa).
- Wydłużenie: 18%.
- Twardość Brinella: 150.

Dane te pochodzą z ogólnych informacji o niemieckich praktykach budowy statków w tamtym okresie, ale brak jest bezpośrednich potwierdzeń dla konkretnych statków klasy Dithmarschen. Alternatywnie, mogła być używana stal SCHIFFBAUSTAHL "Ste. 42" dla mniejszych elementów, o niższej wytrzymałości (50 ksi na rozciąganie, 34 ksi granica plastyczności), ale "Ste. 52" jest bardziej prawdopodobna dla głównych elementów konstrukcyjnych ze względu na rozmiar i przeznaczenie statków.

4.2.1 Grubość poszycia kadłuba

Dokładne dane dotyczące grubości poszycia kadłuba dla statków klasy Dithmarschen nie są dostępne w źródłach online. Jednak na podstawie analizy podobnych jednostek, takich jak tankowce T2 oraz ogólnych praktyk budowy statków w latach 30. i 40. XX wieku, można oszacować następujące wartości:

- Boczne poszycie kadłuba: 15–20 mm, zapewniające wytrzymałość przy stosunkowo mniejszej ekspozycji na obciążenia.
- Dno kadłuba: 20–25 mm, grubsze ze względu na większe obciążenia hydrodynamiczne i potencjalne ryzyko uszkodzeń mechanicznych.
- Kilo: potencjalnie 40–50 mm, dla dodatkowej sztywności i ochrony.

Te szacunki opierają się na informacjach o współczesnych tankowcach, które mają poszycie o grubości 14–19 mm, oraz na danych historycznych, takich jak grubość poszycia Titanica (19–25 mm), który choć zbudowany wcześniej, był statkiem o porównywalnej skali. Statki klasy Dithmarschen, o długości 178 metrów i pełnej wyporności 22 780 ton, wymagają solidnej konstrukcji, co uzasadnia te wartości.

4.2.2 Inne dane techniczne

Szczegółowe informacje, takie jak rozstaw wręg, grubość pokładów, wręg czy pokładników, nie zostały odnalezione w dostępnych źródłach. Oszacowano je na podstawie dostępnych rysunków technicznych statku pochodzących z okresu budowy. Statki klasy Dithmarschen były projektowane zgodnie z zasadami Germanischer Lloyd, ale historyczne reguły tej organizacji z lat 30. XX wieku nie są publicznie dostępne. Rozstaw wręg w tamtym okresie mógł wynosić od 0,6 do 1,2 metra, w zależności od konstrukcji, brak jest konkretnych danych dla tych statków. Dalsze badania w archiwach, takich jak National Archives w USA czy archiwa stoczni F. Schichau, mogą dostarczyć bardziej precyzyjnych informacji. Dokładniejsze dane można znaleźć na rysunkach technicznych załączonych do opisu S/T Franken.

4.2.3 Przykłady podobnych jednostek

Aby lepiej zrozumieć konstrukcję statków klasy Dithmarschen, przeanalizowano inne jednostki pływające o podobnej wielkości z lat 30. i 40. XX wieku:

- Tankowce T2 (USA, 1940–1945): Wyporność: około 21 100 ton (standard T2), 22 445 ton (T2-A). Długość: 152–160 metrów. Grubość poszycia: szacowana na 15–25 mm, z grubszymi płytami na dnie i kilu, na podstawie ogólnych praktyk budowy statków
Uwagi: Tankowce T2, takie jak SS Schenectady, były budowane z użyciem stali o podobnych właściwościach do niemieckiej "Ste. 52". Ich konstrukcja obejmowała podwójne poszycie w niektórych obszarach dla dodatkowej wytrzymałości.
- Statki Liberty (USA, 1941–1945): Wyporność: około 14 300 ton. Długość: 134,6 metra. Grubość poszycia: brak dokładnych danych, ale szacowana na 12–20 mm, nieco cieńsza niż w tankowcach ze względu na mniejszą wyporność i inne przeznaczenie
Uwagi: Statki Liberty, takie jak SS Jeremiah O'Brien, były masowo produkowane i miały prostszą konstrukcję, co mogło wpływać na cieńsze poszycie w porównaniu do Dithmarschen.
- Tankowce handlowe (np. Mobilfuel i Mobilube, USA, 1938–1939): Wyporność: około 20 000 ton. Długość: około 152 metrów. Grubość poszycia: brak danych, ale prawdopodobnie porównywalna z T2, czyli 15–25 mm
Uwagi: Te statki były podstawą dla projektowania tankowców T2, co czyni je odpowiednim punktem odniesienia.

4.2.4 Analiza porównawcza

Tankowce T2 są najbliższym odpowiednikiem statków klasy Dithmarschen pod względem wielkości i przeznaczenia. Oba typy były projektowane do transportu paliwa i zaopatrzenia, wymagając solidnej konstrukcji zdolnej do długotrwałych operacji morskich. T2 miały wyporność 21 100–22 445 ton, co jest bardzo zbliżone do 22 780 ton Dithmarschen. Ich długość (152–160 m) była nieco mniejsza niż 178 m Dithmarschen, co sugeruje, że Dithmarschen mogły mieć nieco grubsze poszycie dla dodatkowej wytrzymałości, szczególnie w obszarach narażonych na obciążenia.

Statki Liberty, choć mniejsze, dostarczają kontekstu dla ogólnych praktyk budowy statków w tamtym okresie. Ich konstrukcja była uproszczona, co mogło skutkować cieńszym poszyciem (12–20 mm), ale nadal w granicach szacunków dla większych tankowców. Współczesne tankowce o podobnej wielkości mają poszycie 14–19 mm, co wskazuje, że wartości z lat 30. i 40. były zbliżone, choć mogły być wyższe ze względu na mniej zaawansowane technologie projektowania i spawania.

Ograniczenia danych

Brak szczegółowych danych technicznych w źródłach online jest znaczącym ograniczeniem. Informacje o grubości poszycia, rozstawie wręg czy innych parametrach konstrukcyjnych wymagają dostępu do archiwów historycznych, takich jak:

- National Archives w USA: przechowują mikrofilmy rekordów marynarki niemieckiej z lat 1850–1945.
- Archiwa Germanischer Lloyd: mogą zawierać reguły klasyfikacyjne z lat 30. XX wieku.
- Archiwa stoczni F. Schichau: potencjalne źródło planów budowy statków klasy Dithmarschen.

Dodatkowo, statki takie jak Dithmarschen, które po wojnie służyły w US Navy jako USS Conecuh, mogły być przedmiotem raportów technicznych podczas eksperymentów z zaopatrzeniem na morzu, ale takie dokumenty nie są dostępne online.

4.2.5 Szczegółowe szacowanie grubości poszycia w oparciu o dostępne reguły

W celu bardziej szczegółowego oszacowania grubości poszycia dla statków klasy Dithmarschen, wykorzystano dane z podobnych jednostek oraz ogólne praktyki budowy statków. Współczesne reguły klasyfikacyjne, takie jak te od American Bureau of Shipping, sugerują, że grubość poszycia zależy od długości statku, rozstawu wręg i obciążeń hydrodynamicznych.

Prosta formuła przybliżona dla poszycia dna to $t = 0,005 \cdot L + 5$ mm, gdzie L to długość statku w metrach. Dla Dithmarschen ($L = 178$ m):

$$t = 0,005 \cdot 178 + 5 = 13,9 \text{ mm (minimalna wartość).}$$

Jednak dla tankowców i statków zaopatrzeniowych wartości te są zwykle wyższe, co prowadzi do szacunków 15–25 mm. Skalując dane z większych statków (np. 25 mm dla 250-metrowego tankowca), dla 178-metrowego Dithmarschen otrzymujemy: Boczne poszycie: $(178/250) \cdot 20 \text{ mm} \approx 14,2 \text{ mm}$. Dno: $(178/250) \cdot 25 \text{ mm} \approx 17,8 \text{ mm}$.

Te wartości są przybliżone, ale zgodne z danymi historycznymi i współczesnymi.

Tabela 5 Szacunkowe grubości poszycia

Element konstrukcyjny	Szacowana grubość (mm)	Uwagi
Boczne poszycie kadłuba	15–20	Cieńsze na górnych partiach, grubsze przy linii wodnej
Dno kadłuba	20–25	Grubsze dla ochrony przed obciążeniami hydrodynamicznymi
Kil	40–50	Najgrubszy element dla sztywności konstrukcji
Pokłady	10–15	Cieńsze niż poszycie kadłuba, brak danych specyficznych
Wręgi	Brak danych	Prawdopodobnie 10–20 mm, zależnie od rozmiaru

Szczegółowa specyfikacja materiałów konstrukcyjnych statków klasy Dithmarschen

Materiał:

- Typ stali: SCHIFFBAUSTAHL "Ste. 52"
- Właściwości:
 - Wytrzymałość na rozciąganie: ~510 MPa
 - Granica plastyczności: ~352 MPa
 - Wydłużenie: 18%
 - Twardość Brinella: 150

Szacowana grubość poszycia:

- Boczne poszycie kadłuba: 15–20 mm

- Dno kadłuba: 20–25 mm
- Kil: 40–50 mm
- Pokłady: 10–15 mm (przybliżone)
- Wręgi: Brak danych, szacunkowo 10–20 mm

Literatura:

1. Mills, S. (2013). *The Unseen Britannic: The Ship in Rare Illustrations*. The History Press.
2. Global Security. (n.d.). *KMS Dithmarschen*. Pobrano 15 maja 2025 z <https://www.globalsecurity.org/military/world/europe/kms-dithmarschen.htm>
3. German Navy. (n.d.). *Dithmarschen Operational History*. Pobrano 15 maja 2025 z <https://www.germannavy.de/kriegsmarine/ships/auxships/dithmarschen/operations.html>
4. KBismarck. (n.d.). *Kriegsmarine Supply Ships*. Pobrano 15 maja 2025 z <https://www.kbismarck.com/supplyships.html>
5. Marine Insight. (2020, 13 maja). *What Materials Are Used For Building Ships?* Pobrano 15 maja 2025 z <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/what-materials-are-used-for-building-ships/>
6. Metinvest Holding. (2020, 13 maja). *Shipbuilding steels: from history to the present day*. Pobrano 15 maja 2025 z <https://metinvestholding.com/en/media/article/sudostroitelnye-stali-ot-istori-do-sovremennosti>
7. Naval History Magazine. (2001, czerwiec). *Historic Fleets*. *Naval History Magazine*, 15(3). Pobrano 15 maja 2025 z <https://www.usni.org/magazines/naval-history-magazine/2001/june/historic-fleets>
8. Texas Iron & Metal. (n.d.). *Metal & Steel in Ship Construction*. Pobrano 15 maja 2025 z <https://www.texasironandmetal.com/metal-steel-in-ship-construction/>

5 Rodzaje paliw używanych na T/S Franken dla potrzeb własnych

5.1 Wprowadzenie

Niniejsza sekcja omawia rodzaje paliw używane na T/S Franken oparte na dokumencie technicznym stoczni "Bauvorschrift Franken" (instrukcje budowlane, tłumaczenie z języka niemieckiego).

Dokument zawiera szczegółowe specyfikacje techniczne systemów paliwowych. Analiza obejmuje:

- Klasyfikacja typów paliw i zastosowanie operacyjne
- Ciężki olej napędowy (HDO) – określenie zastrzeżone dla europejskie standardów
- Systemy podgrzewania paliwa w zbiornikach na własne potrzeby
- Parametry techniczne (zużycie, gęstość, wartość opałowa)
- Wpływ na bezpieczeństwo i wydajność operacyjną

Informacje zawarte poniżej stanowią dokumentację technologicznych rozwiązań zastosowanych na jednostce zaopatrzeniowej klasy Dithmarschen.

5.2 Rodzaje paliw wymienione w dokumencie

Dokument wymienia dwa główne rodzaje paliw używanych w opisanym systemie:

5.2.1 Olej napędowy

Zastosowanie: Zasilanie silników głównych i pomocniczych

- Zużycie: 172 g/KM/h (silniki główne), 178 g/KM/h (silniki pomocnicze)
- Wartość opałowa: Minimum 10 000 kcal/kg
- Systemy: Oczyszczanie, przechowywanie w zbiornikach, bunker, załadunek, transfer
- Rola: Paliwo do napędu głównego i pomocniczego – kluczowe dla wydolności statku

5.2.2 Olej opałowy (HFO/HDO – Heavy Fuel Oil / Heavy Diesel Oil – Heizöl)**

Zastosowanie: Kotły pomocnicze, kuchnia (palniki olejowe)

- Przechowywanie: Zbiorniki rozchodowe (dziennego zużycia)
- Podgrzewanie: Wężownice grzewcze zasilane parą (utrzymanie płynności w niskich temperaturach)
- Zużycie: Brak dokładnych danych
- Rola: Wsparcie systemów grzewczych, gotowania – istotne dla warunków na statku

Tabela 6 Paliwa używane dla potrzeb własnych

Rodzaj paliwa	Zastosowanie	Parametry/Zużycie	Uwagi
Olej napędowy	Silniki główne i pomocnicze	Zużycie: 172 g/KM/h (główne), 178 g/KM/h (pomocnicze); Wartość opałowa: min. 10 000 kcal/kg	Systemy oczyszczania, przechowywania, transferu
Olej opałowy	Kotły pomocnicze, kuchnia	Brak szczegółowych danych zużycia	Zbiornik zużycia z wężownicą grzewczą

6 Wykaz wszystkich zbiorników pomocniczych na T/S Franken innych niż transportowe.

Poniżej przedstawiono dane z tabel zbiorników znajdujących się na statku FRANKEN uszeregowane według kryterium: Paliwo, Smary, Odpady, Woda, Inne. Każdy zbiornik został przypisany do odpowiedniej kategorii na podstawie rodzaju medium, a dane obejmują nazwę zbiornika, rodzaj paliwa/medium, objętość oraz rozmieszczenie. Kategorie zostały uporządkowane zgodnie z podanym kryterium, a w ramach każdej kategorii zbiorniki są wymienione alfabetycznie dla przejrzystości.

Ważne informacje:

- Dokument zawiera szczegółowy opis 41 zbiorników na statku, z różnymi rodzajami paliw i mediów, takimi jak olej, woda, powietrze sprężone i substancje chemiczne.
- Pojemności wahają się od 15 litrów do 85 m³, a rozmieszczenie obejmuje maszynownię, przedziały silników, pokłady i podwójne dno.
- Niektóre pojemności, np. zbiorników wody pitnej czy użytkowej, nie są dokładnie podane, co może wymagać dodatkowych danych.

Opis zbiorników

Dokument opisuje różne zbiorniki używane na statku, takie jak zbiorniki oleju (smarowego, cylindrowego, napędowego), wody (pitnej, użytkowej, zasilającej), powietrza sprężonego oraz substancji chemicznych. Każdy zbiornik ma określoną rolę, np. smarowanie silników, chłodzenie, zasilanie kotłów czy potrzeby załogi.

Rodzaje i pojemności

- Zbiorniki oleju, jak zbiornik na olej cylindrowy (650 l) czy zapasowy olej smarowy (25 m³), służą do utrzymania silników.
- Zbiorniki wody, np. wody pitnej (rozmieszczone między wręgami, objętość nieokreślona), zapewniają zaopatrzenie załogi.
- Zbiorniki powietrza sprężonego, jak te dla silników pomocniczych (600 l każdy), wspierają rozruch.

Rozmieszczenie

- Większość zbiorników, np. olejowych, znajduje się w maszynowni lub przedziałach silników, np. zbiornik oleju brudnego dla silników głównych w podwójnym dnie (grodziami 56–58).
- Zbiorniki wody pitnej i użytkowej rozmieszczone są w różnych sekcjach, np. między wręgami 0–15, 16–23, 64–79.

6.1 Paliwo

Zbiorniki zawierające paliwa, takie jak olej napędowy lub olej opałowy, używane do napędu silników lub zasilania kotłów.

Tabela 7 Zbiorniki Paliwowe – Nazwy, Rodzaje, Pojemności, Rozmieszczenie

Nazwa zbiornika	Rodzaj paliwa/medium	Objętość	Rozmieszczenie
Zbiornik ciśnieniowy (olej opałowy)	Olej opałowy (układ oleju opałowego)	Nieokreślona	Przedział kotłów pomocniczych
Zbiornik na olej lampowy	Olej lampowy (paliwo do oświetlenia)	150 l	Maszynownia
Zbiornik oleju opałowego	Olej opałowy (paliwo kotłów pomocniczych)	Nieokreślona	Grodzie 16–23, z węzownicami grzewczymi

Nazwa zbiornika	Rodzaj paliwa/medium	Objętość	Rozmieszczenie
Zbiornik rozchodowe oleju napędowego (silniki pomocnicze)	Olej napędowy (paliwo)	~5 m ³	Przedział silników głównych
Zbiornik rozchodowe oleju opałowego	Olej opałowy (używany w kotłach)	6 m ³	Przedział kotłów pomocniczych
Zbiornik rozchodowe oleju opałowego (kuchnia)	Olej opałowy (paliwo kuchenki)	150 l	Kuchnia, pokład rufowy, grodzie 23–29, z węzownicą grzewczą
Zbiornik rozchodowe dla silników diesla awaryjnych	Olej napędowy (paliwo)	0,5 m ³	Nieokreślone, związany z agregatem awaryjnym
Zbiorniki rozchodowe oleju napędowego (2)	Olej napędowy (paliwo silników głównych)	16 m ³ każda (32 m ³), sekcje po 8 m ³	Nieokreślone, blisko układów paliwowych silników głównych

6.2 Smary

Zbiorniki zawierające oleje smarowe, cylindrowe, antykorozyjne lub inne substancje używane do smarowania i konserwacji maszyn.

Tabela 8 Zbiorniki zawierające oleje smarowe i hydrauliczne

Nazwa zbiornika	Rodzaj paliwa/medium	Objętość	Rozmieszczenie
Zbiornik na olej cylindrowy	Olej cylindrowy (smarowanie silników)	650 l	Główna maszynownia, pokład główny
Zbiornik na olej cylindrowy (dodatkowy)	Olej cylindrowy (smarowanie)	500 l	Maszynownia
Zbiornik na olej do silników elektrycznych	Olej (używany w silnikach elektrycznych)	150 l	Maszynownia
Zbiornik na olej lniany	Olej lniany (konserwacja, smarowanie)	150 l	Maszynownia
Zbiornik na olej sprężarkowy	Olej sprężarkowy (używany w sprężarkach)	150 l	Maszynownia
Zbiornik zapasowy oleju antykorozyjnego	Olej antykorozyjny (ochrona przed korozją)	~4 m ³	Trzeci pokład, grodzie 15–23
Zbiornik zapasowy oleju smarowego	Olej smarowy (smarowanie, chłodzenie)	25 m ³	Trzeci pokład, grodzie 15–23
Zbiorniki zapasowe oleju cylindrowego (2)	Olej cylindrowy (smarowanie)	7 m ³ każda (14 m ³)	Trzeci pokład, grodzie 15–23

6.3 Odpady

Zbiorniki przechowujące zużyty olej (brudny) lub resztki olejowe, które są zbierane do oczyszczania lub utylizacji.

Tabela 9 Zbiorniki Odpadów Olejowych

Nazwa zbiornika	Rodzaj paliwa/medium	Objętość	Rozmieszczenie
Zbiornik oleju brudnego (silniki główne)	Olej brudny (używany olej smarowy, chłodzący, przekładniowy)	Nieokreślona, wystarczająca do jednego zbiornika sptywowego	Podwójne dno, grodzie 56–58

Nazwa zbiornika	Rodzaj paliwa/medium	Objętość	Rozmieszczenie
Zbiornik oleju brudnego (silniki pomocnicze)	Olej brudny (używany olej smarowy, chłodzący)	Nieokreślona, wystarczająca do jednego zbiornika smarowego	Przedni przedział silników pomocniczych
Zbiornik resztek (układ załadunku)	Resztki oleju (odpady olejowe)	~85 m ³	Nieokreślone, związane z układem oczyszczania
Zbiornik zbiorczy (układ załadunku)	Olej (różne typy oleju)	~9 m ³	Nieokreślone, związane z układem oczyszczania
Zbiorniki oleju brudnego (układ załadunku, 2)	Olej brudny (używany olej załadunkowy)	~26 m ³ i ~31 m ³	Nieokreślone, związane z układem oczyszczania

6.4 Woda

Zbiorniki przechowujące wodę pitną, użytkową, destylowaną, chłodzącą lub zasilającą kotły, a także wodę używaną w kuchni i pralni.

Tabela 10 Zbiorniki Wodne – Typy (Pitna, Użytkowa, Balastowa)

Nazwa zbiornika	Rodzaj paliwa/medium	Objętość	Rozmieszczenie
Elektryczny czajnik (kuchnia)	Woda (do podgrzewania)	15 l	Kuchnia, pokład rufowy, grodzie 23–29
Parowy kocioł do gotowania (kuchnia)	Woda (do gotowania)	200 l	Kuchnia, pokład rufowy, grodzie 23–29
Parowy kocioł do wody (kuchnia)	Woda (do podgrzewania)	50 l	Kuchnia, pokład rufowy, grodzie 23–29
Zbiornik do gotowania ługu (pralnia)	Ług (roztwór chemiczny do prania, zawiera wodę)	265 l	Pralnia, pokład rufowy, grodzie 29–32
Zbiornik wody słodkiej chłodzącej	Woda słodka (chłodzenie silników)	Nieokreślona	Podwójne dno, grodzie 36–46
Zbiornik wody zasilającej	Woda słodka (zasilanie kotłów)	Nieokreślona, duża przestrzeń wodna	Podwójne dno, grodzie 23–35
Zbiorniki destylatu	Woda destylowana (wytworzana w układzie wody słodkiej)	Nieokreślona	Grodzie 16–23, 64–75
Zbiorniki wody pitnej	Woda pitna (dla załogi i statku)	Nieokreślona	Grodzie 0–15, 16–23, 64–79
Zbiorniki wody użytkowej	Woda użytkowa (cele sanitarne, techniczne)	Nieokreślona	Od rufy do wręgi 0, grodzie 0–15, 150–172, 172–191, do stewy dziobowej

6.5 Inne

Zbiorniki przechowujące substancje chemiczne, powietrze sprężone, pokost, glicerynę lub inne materiały niebędące paliwem, smarami, odpadami ani wodą.

Tabela 11 Zbiorniki techniczne (Substancje, Pojemności, Funkcje)

Nazwa zbiornika	Rodzaj paliwa/medium	Objętość	Rozmieszczenie
Butle powietrzne (awaryjna prądnica)	Powietrze sprężone (awaryjny ruch)	75 l i 60 l (135 l)	Przedział silników głównych, związane z prądnicą awaryjną

Nazwa zbiornika	Rodzaj paliwa/medium	Objętość	Rozmieszczenie
Skrzynie na twist (2 po 500 l)	Twist (nieokreślona substancja, prawdopodobnie chemiczna)	500 l każda (1000 l)	Maszynownia
Skrzynie na twist (3 po 155 l)	Twist (nieokreślona substancja, prawdopodobnie chemiczna)	155 l każda (465 l)	Maszynownia
Zbiornik na glicerynę	Gliceryna (konserwacja, smarowanie)	100 l	Maszynownia
Zbiornik na mydło	Mydło (czyszczenie, konserwacja)	100 l	Maszynownia, zgrupowany w module
Zbiornik na naftę	Nafta (paliwo, rozpuszczalnik)	300 l	Maszynownia
Zbiornik na pokost	Pokost (środek ochronny, malowanie)	150 l	Maszynownia
Zbiornik na sodę	Soda (środek chemiczny, czyszczenie)	150 l	Maszynownia, zgrupowany w module
Zbiornik na talk	Talk (smarowanie, izolacja)	50 l	Maszynownia, zgrupowany w module
Zbiorniki sprężonego powietrza (silniki główne, 4)	Powietrze sprężone (rozruch, manewry)	7,5 m ³ każdy (30 m ³)	Nieokreślone, blisko stanowisk manewrowych, Bb i Stb
Zbiorniki sprężonego powietrza (silniki pomocnicze, 2)	Powietrze sprężone (rozruch)	600 l każdy (0,6 m ³)	Przedni i tylny przedział silników pomocniczych

6.6 Analiza i uwagi

Dokumenty archiwalne szczegółowo opisują 41 zbiorników, z czego wiele, jak zbiorniki wody pitnej czy użytkowej, ma rozmieszczenie podane w ogólnikowy sposób (np. między określonymi wręgami), ale dokładna objętość nie zawsze jest wyraźnie określona. Zbiorniki oleju, takie jak brudny czy spływowy, często mają pojemności opisane jako wystarczające do określonych celów, bez dokładnych wartości, co może wymagać dodatkowych danych technicznych. Zbiorniki chemiczne, jak te na mydło, talk czy sodę, są zgrupowane w maszynowni, co sugeruje ich zastosowanie w konserwacji i czyszczeniu.

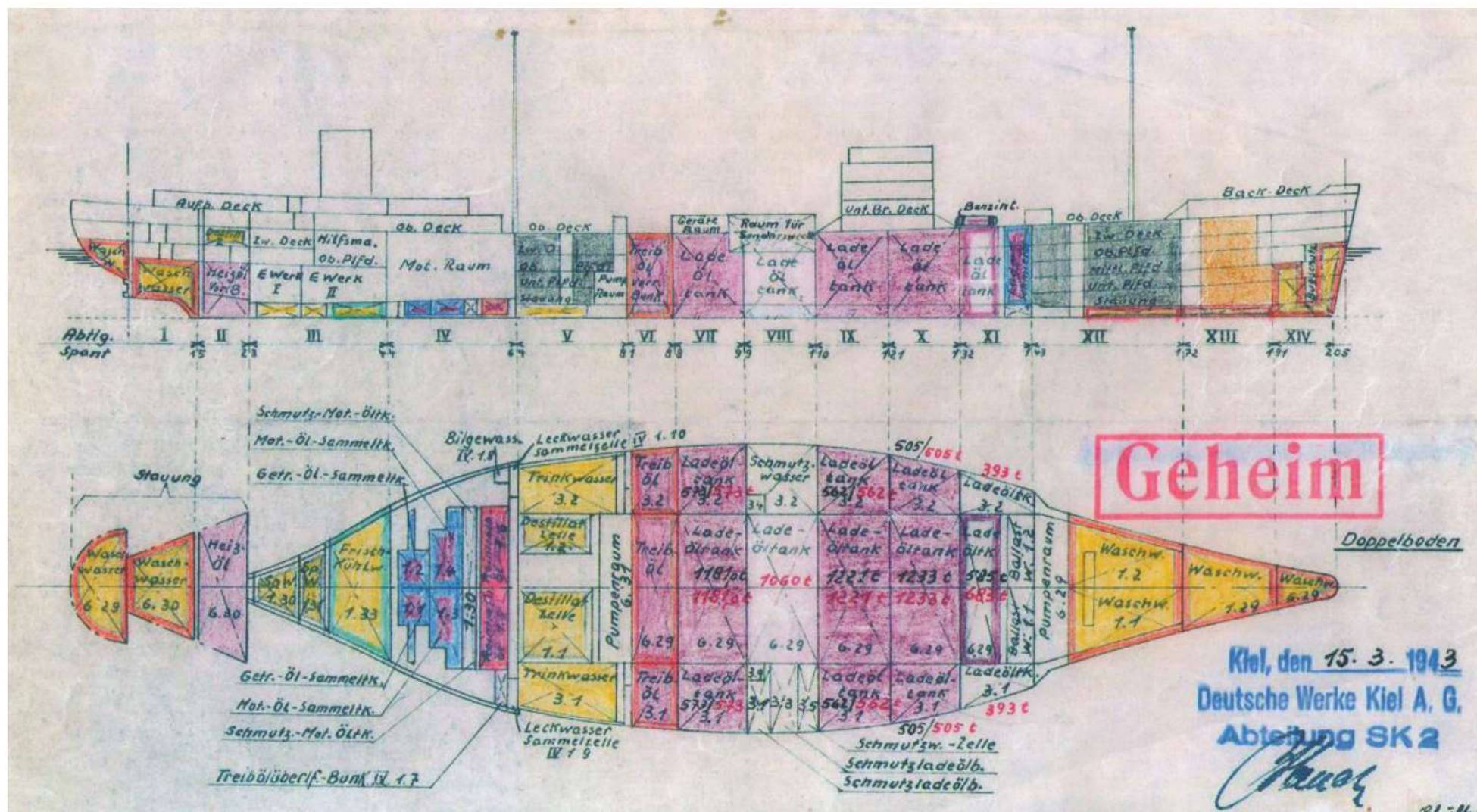
Zbiorniki oleju napędowego i opałowego, jak również wody słodkiej, są kluczowe dla operacji statku, z rozmieszczeniem w przedziałach silników i kotłowni, co zapewnia łatwy dostęp do układów zasilania i chłodzenia. Zbiorniki powietrza sprężonego, niezbędne do rozruchu, rozmieszczone są w przedziałach silników, co wspiera manewrowość i awaryjność.

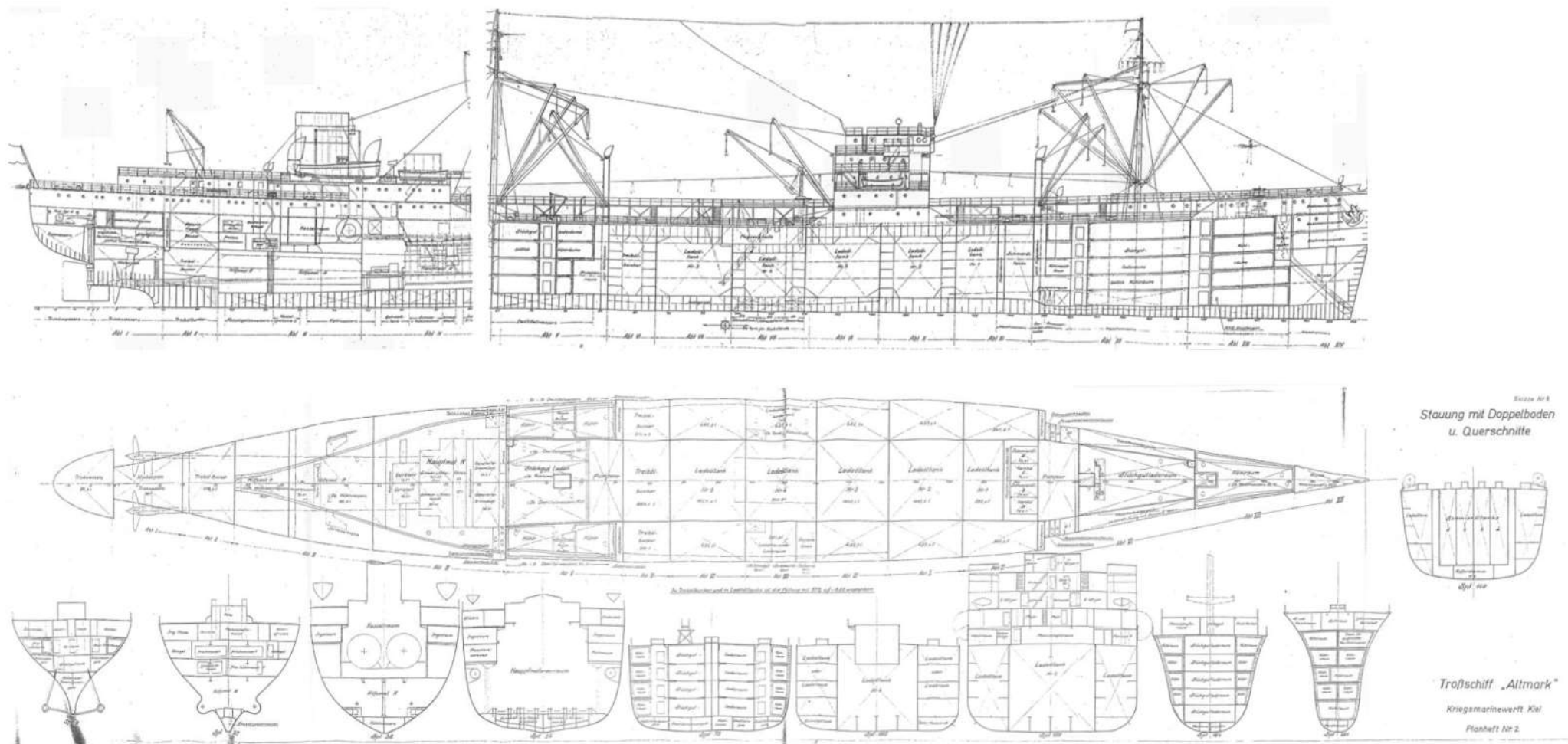
- Paliwo: Zbiorniki paliwowe (8) obejmują głównie olej napędowy i opałowy, kluczowe dla napędu silników i kotłów. Ich pojemności są dobrze określone (np. 16 m³ dla oleju napędowego), ale niektóre, jak zbiornik oleju opałowego, nie mają podanej objętości.
- Smary: Zbiorniki smarowe (8) przechowują oleje do smarowania i ochrony maszyn. Największy to zapasowy olej smarowy (25 m³), a najmniejszy to olej sprężarkowy (150 l).
- Odpady: Zbiorniki odpadów (5) przechowują zużyty olej, z największym zbiornikiem resztek (85 m³). Ich pojemności są częściowo nieokreślone, co może wymagać dodatkowych danych.
- Woda: Zbiorniki wodne (9) obejmują wodę pitną, użytkową, destylowaną i chłodzącą. Większość nie ma podanej objętości, co utrudnia pełną analizę.
- Inne: Najliczniejsza kategoria (11) zawiera zbiorniki powietrza sprężonego i substancji chemicznych. Zbiorniki twist (nieokreślona substancja) budzą pytania co do ich zastosowania, a zbiorniki chemiczne (np. mydło, soda) są zgrupowane w maszynowni dla łatwego dostępu.

Uwagi techniczne

- Niektóre zbiorniki, zwłaszcza wody pitnej i użytkowej, mają nieokreśloną objętość, co może wymagać odniesienia do specyfikacji budowy statku.
- Zbiorniki chemiczne (twist, mydło, soda) są opisane ogólnie, co sugeruje ich drugorzędną rolę w operacjach statku.
- Rozmieszczenie zbiorników jest logiczne: paliwa i smary blisko maszynowni, woda w różnych sekcjach dla zaopatrzenia, a odpady w miejscach umożliwiających oczyszczanie.

Źródło: Dane pochodzą z dokumentu "Bauvorschrift - tłumaczenie.docx".





Rysunek 10 Rysunki konstrukcyjne statku T/S Franken u góry przekrój wzdłużny, na dole - przekroje poprzeczne (źródło: archiwum Freiburg)

Tabela 12 Zestawienie wszystkich zbiorników zabudowanych na statku Franken

Leckraum zeichen Przedział kontrolu- jący wycieki	Lage der Raumes Lokalizacja zbiornika w kadłubie statku	Rechnerisch Werte (obliczona objętość zbiornika)			Gelit werte Wartości zmie- rzone
		Netto Rauminhall cbm Netto objętość prze- strzeni (m³)	Vorgaschriebene Füllung Zalecany procent wypełnienia		
			%	cbm (m³)	cbm (m³)
	Ladeöl – Olej ładunkowy				
VII 3.1	Wręga 88 – 99 Prawa burta	602,1	97	584,0	
VII 3.2	Wręga 88–99 Lewa burta	602,1	97	584,0	
VII 6.27	Wręga 88 – 99 Środek	1237,3	97	1200,2	
VIII 6.27	Wręga 99 – 110 Środek	1122,5	97	1088,8	
VIII 10.27	Wręga 97 – 110 Srodek	185,8	100	185,8	
IX 3.1	Wręga 110 – 121 Prawa burta	590,2	97	572,5	
IX 3.2	Wręga 110 – 121 Lewa burta	590,2	97	572,5	
IX ???	Wręga 110 – 121 Środek	1276,2	97	1237,9	
X 3.1	Wręga 121 – 132 Prawa burta	532,4	97	516,4	
X 3.2	Wręga 121 – 132 Lewa burta	532,4	97	516,4	
X3.29	Wręga 121 – 132 Środek	1292,2	97	1253,4	
XI 3.1	Wręga 132 – 143 Prawa burta	413,0	97	400,6	
XI 3.2	Wręga 132 – 143 Lewa burta	413,0	97	400,6	
XI 6.29	Wręga 132 – 138 Środek	716,0	97	694,9	
	Gesamt (całość)			9808,0	
	Res Ladeol – Olej ładunkowy rezerwowy				
VIII 3.4	Wręga 99 – 110 Prawa burta	523,6	97	507,9	
VIII 3.3	Wręga 99 – 110 Lewa burta	478,1	97	463,8	
	Gesamt (całość)			971,7	
	Schmutzladeöl ("Brudny olej z miski olejowej")				

Leckraum zeichen Przedział kontrolu- jący wycieki	Lage der Raumes Lokalizacja zbiornika w kadłubie statku	Rechnerisch Werte (obliczona objętość zbiornika)			Gelit werte Wartości zmie- rzone
		Netto Rauminhall cbm Netto objętość prze- strzeni (m³)	Vorgeschriebene Füllung Zalecany procent wypetnienia		
			%	cbm (m³)	cbm (m³)
VIII 3.2	Wręga 99 – 110 Prawa burta	78,3	85	66,6	
VIII 3.5	Wręga 107 – 110 Prawa burta	13.6	85	11,6	
	Gesamt (całość)			78,2	
	Schmutzwasser: Woda brudna / Ladeölsreiniger: Oczyszczacz oleju ładunkowego.				
VIII 3.2	Wręga 99 – 110 Lewa burta	78,3	85	66,6	
VIII 3.1	Wręga 107 – 110 Prawa burta	13,6	85	11,6	
	Gesamt (całość)			78,2	
	Ladeschmieröl (olej smarny)				
XI 6.1	Wręga 139 – 143 Prawa burta	66,8	97	64,8	
XI 6.2	Wręga 139 – 143 Lewa Burta	66,8	97	64,8	
XI 63.	Wręga 139 – 143 Prawa burta	101,2	97	98,2	
XI 64	Wręga 139 – 143 Lewa Burta	101,2	97	98,2	
	Gesamt (całość)			326,0	
	Treiböl: Olej napędowy (paliwo).				
VI 3.1	Wręga 81 - 88 Prawa burta	377,9	97	366,5	
VI 3.2	Wręga 81 - 88 Lewa Burta	377,9	97	366,5	
VI 6.29	Wręga 81 - 88 Środek	804	97	780,5	
	Gesamt (całość)			1513,5	
	Reintriböl (Czysty olej napędowy)				

Leckraum zeichen Przedział kontrolu- jący wycieki	Lage der Raumes Lokalizacja zbiornika w kadłubie statku	Rechnerisch Werte (obliczona objętość zbiornika)			Gelit werte Wartości zmie- rzone
		Netto Rauminhall cbm Netto objętość prze- strzeni (m³)	Vorgeschriebene Füllung Zalecany procent wypełnienia		
			%	cbm (m³)	cbm (m³)
IV 1.5	Wręga 59 - 63 Prawa burta	36,9	85	31,4	
IV 1.5	Wręga 50 – 63 Lewa burta	36,9	85	31,4	
	Gesamt (całość)			62,8	
	Treibölüberlauf: Przelew oleju napędowego				
IV 1.7	Wręga 62 - 63 Prawa burta	4,85	85	4,1	
	Heizöl: Olej opałowy				
II. 6.30	Wręga 16 - 23 Środek	190,6	97	184,9	
III 8.30	Wręga 40 - 44 Lewa burta			5,85	
	Gesamt (całość)			190,75	
	Getriebeöl: Olej przekładniowy.				
IV 1.1	Wręga 47 - 51 Prawa burta	18.1	85	15,4	
IV 1.2	Wręga 47 - 51 Lewa burta	18.1	85	15,4	
	Gesamt (całość)			30,8	
	Motorenöl: Olej silnikowy				
IV 1.3	Wręga 51 - 56 Prawa burta	35.4	85	30,1	
IV 1.4	Wręga 51 - 56 Lewa burta	35.4	85	30,1	
	Gesamt (całość)			60.2	
	Treiböl Verbr Beh: Zbiornik zużycia oleju napędowego.				
IV 6.29	Wręga 58 - 60 Prawa burta			16,0	
IV 6.29	Wręga 58 - 60 Lewa burta			16,0	

Leckraum zeichen Przedział kontrolu- jący wycieki	Lage der Raumes Lokalizacja zbiornika w kadłubie statku	Rechnerisch Werte (obliczona objętość zbiornika)			Gelit werte Wartości zmie- rzone
		Netto Rauminhall cbm Netto objętość prze- strzeni (m³)	Vorgeschriebene Füllung Zalecany procent wypetnienia		
			%	cbm (m³)	cbm (m³)
IV 6.29	Wręga 44 - 47 Środek			5,00	
	Gesamt (całość)			37,0	
	Schmutzmoorenöl: Olej brudny lub olej silnikowy				
IV 1.30	Wręga 51 - 56 Środek	34,9	85	29,7	
	Schmieröl: Olej smarowy				
III.3.29	Wręga 15 - 21 Prawa burta	27,7	85	23,6	
	Korrosionsschutzöl: Olej antykorozyjny				
II 6.27	Wręga 21 - 23 Prawa burta	4,64	85	3,94	
Zylinderöl: Olej cylindrowy					
II.5.29	Wręga 21 - 23 Lewa burta	7,59	85	6,45	
	Wręga 21 - 23 Środek	7,59	85	6,55	
	Gesamt (całość)			13,0	
	Bilgenwasser: Woda zęzowa.				
IV	Wręga 61 - 63 Lewa burta	3,87	85	3,29	
	Destillat: Destylat				
II 1.2	Wręga 16 - 23 Lewa burta	122,8	85	104,4	
	Wręga 64 - 75 prawa burta	105,4	85	89,5	
	Wręga 64 - 75 Lewa burta	53,6	85	45,6	
	Gesamt (całość)			239,6	
	Speisewasser: Woda zasilająca (np. do kotłów).				

Leckraum zeichen Przedział kontrolu- jący wycieki	Lage der Raumes Lokalizacja zbiornika w kadłubie statku	Rechnerisch Werte (obliczona objętość zbiornika)			Gelit werte Wartości zmie- rzone
		Netto Rauminhall cbm Netto objętość prze- strzeni (m³)	Vorgeschriebene Füllung Zalecany procent wypetnienia		
			%	cbm (m³)	cbm (m³)
III.1.30	Wręga 24 -31 Środek	23,5	85	20,0	
III.1.31	Wręga 31 -35 Środek	22,8	85	19,4	
	Gesamt (całość)			39,4	
	Frischkühlwasser: Woda słodka chłodząca				
II.1.33	Wręga 36- 46 Środek	124,6	85	105,9	
	Trinkwasser: Woda pitna				
I.3.1	Wręga 0 – 15 Prawa burta	39,3	85	33,3	
I.3.2	Wręga 0 – 15 Lewa burta	39,3	85	33,3	
II.10.3	Wręga 16 – 23 Prawa burta	121,3	85	103,5	
	Wręga 64 – 79 Prawa burta	76,1	85	64,7	
	Wręga 0 – 15 Lewa burta	76,1	85	64,7	
	Gesamt (całość)			300,5	
	Waschwasser: Woda użytkowa (do mycia).				
I.6.29	Tył wręga 0 Prawa burta - Środek	93,2	85	79,7	
I.6.30	Wręga 0 – 15 Środek	111,2	85	94,5	
XII.1.1	Wręga 150 – 172 Prawa burta	102,1	85	86,8	
XII.1.2	Wręga 150 – 172 Lewa burta	102,1	85	86,8	
XIII.1.29	Wręga 174 - 191 Środek	65,2	85	55,4	
XIII.3.29	Wręga 191 – Skrajnik dziobowy	123,5	85	105,0	
	Gesamt (całość)			508,2	

Leckraum zeichen Przedział kontrolu- jący wycieki	Lage der Raumes Lokalizacja zbiornika w kadłubie statku	Rechnerisch Werte (obliczona objętość zbiornika)			Gelit werte Wartości zmie- rzone
		Netto Rauminhall cbm Netto objętość prze- strzeni (m³)	Vorgeschriebene Füllung Zalecany procent wypełnienia		
			%	cbm (m³)	cbm (m³)
	Ballastwasser: Woda balastowa				
XI.1.1	Wręga 139 -143 Prawa burta	36,0	85	30,6	
XI.1.2	Wręga 139 -143 Lewa burta	36,0	85	30,6	
	Gesamt (całość)			61,2	
	Leckwasser: Woda wyciekowa				
IV.1.9	Wręga 63-69 Prawa burta	3,43	85	2,92	
IV1.10	Wręga 63-69 Lewa burta	3,43	85	2,92	
XII.3.3	Wręga 145 - 146 Prawa burta	2,32	85	1,97	
XII.3.4	Wręga 145 - 146 Lewa burta	2,32	85	1,97	
XII.3.5	Wręga 146 - 147 Prawa burta	2,30	85	1,95	
XII.3.6	Wręga 146 - 147 Lewa burta	2,30	85	1,95	
XII.3.7	Wręga 147-150 Prawa burta	6,89	85	5,86	
XII.3.8	Wręga 147 - 150 Lewa burta	6,69	85	5,86	
	Gesamt (całość)			25,90	

Tłumaczenie terminów

1. Leckraum zeichen

- Tłumaczenie: Oznaczenie przestrzeni wycieku/przelewu
- Wyjaśnienie: „Leckraum” odnosi się do przestrzeni związanej z wyciekami (np. w zbiornikach), a „zeichen” to oznaczenie lub kod identyfikacyjny. W kontekście statku może to być symbol przypisany do zbiornika lub przedziału kontrolującego wycieki.

2. Lage der Raumes

- Tłumaczenie: Położenie przestrzeni (przedziału)
- Wyjaśnienie: Określa lokalizację danej przestrzeni (np. zbiornika) w kadłubie statku, np. „Mitte” (środek) lub w odniesieniu do wręg.

3. Rechnerisch Werte

- Tłumaczenie: Wartości obliczeniowe
- Wyjaśnienie: Wartości teoretyczne lub projektowe, np. obliczona objętość zbiornika, używane do porównania z wartościami zmierzonymi.

4. Gelit werte

- Tłumaczenie: Wartości zmierzone
- Wyjaśnienie: Prawdopodobnie błąd transkrypcji, powinno być „Gemessene Werte” (wartości zmierzone). Odnosi się do rzeczywistych pomiarów, np. objętości zbiornika w praktyce.

5. Netto Rauminhall cbm

- Tłumaczenie: Netto objętość przestrzeni (m^3)
- Wyjaśnienie: „Rauminhall” to zawartość przestrzeni (objętość), a „cbm” to metry sześciennie (m^3). Oznacza rzeczywistą, netto objętość zbiornika po uwzględnieniu strat lub innych czynników.

6. Vorgaschriebene Fullung %

- Tłumaczenie: Zalecany procent wypełnienia (%)
- Wyjaśnienie: „Vorgaschriebene Füllung” to określony poziom wypełnienia zbiornika, wyrażony w procentach, np. maksymalny lub bezpieczny poziom medium (paliwa, oleju).

7. Cbm

- Tłumaczenie: Metry sześciennie (m^3)
- Wyjaśnienie: Jednostka objętości używana do określania pojemności zbiorników.

8. cbm

- Tłumaczenie: Metry sześciennie (m^3)
- Wyjaśnienie: To samo co powyżej, powtórzenie jednostki objętości.

9. Ladeöl Schmutz motorenöl

- Tłumaczenie: Olej ładunkowy, olej brudny, olej silnikowy
- Wyjaśnienie: Prawdopodobnie połączenie trzech terminów: „Ladeöl” (olej ładunkowy), „Schmutzöl” (olej brudny, zużyty) i „Motorenöl” (olej silnikowy). W kontekście dokumentu odnosi się do różnych rodzajów olejów używanych na statku: ładunkowego (do transportu), brudnego (zużytego, do oczyszczania) i silnikowego (do smarowania silników).

Uwagi

- Niektóre terminy, jak „Gelit werte” czy „LadeölSchmutz motorenöl”, zawierają możliwe błędy transkrypcji. Zinterpretowano je w oparciu o kontekst dokumentu, który opisuje zbiorniki z olejami (ładunkowym, brudnym, smarowym, cylindrowym).
- „Leckraum” może odnosić się do przestrzeni kontrolującej wycieki w zbiornikach, co jest zgodne z technicznym kontekstem statku.
- Terminy takie jak „cbm” i „Cbm” są identyczne, a powtórzenie może wynikać z formatowania danych.

6.7 Całkowita objętość zbiorników do przewozu paliwa, materiałów pędnych i smarnych

Obliczenia sum.

1. Rechnerisch Werte (Obliczeniowa objętość, m³):

- Olej ładunkowy (Ladeöl): 9808.0 m³
- Olej ładunkowy rezerwowy (Res Ladeöl): 1001.7 m³
- Brudny olej ładunkowy (Schmutzladeöl): 91.9 m³
- Oczyszczacz oleju ładunkowego (Ladeölreiniger): 91.9 m³
- Olej smarny (Ladeschmieröl): 336.0 m³
- Olej napędowy (Treiböl): 1559.8 m³
- Czysty olej napędowy (Reintriböl): 73.8 m³
- Przelew oleju napędowego (Treibölüberlauf): 4.85 m³
- Olej opałowy (Heizöl): 190.6 m³
- Olej przekładniowy (Getriebeöl): 36.2 m³
- Olej silnikowy (Motorenöl): 70.8 m³
- Zbiornik zużycia oleju napędowego (Treiböl Verbr Beh): brak danych (0.0 m³ w obliczeniach)
- Olej brudny (Schmutzmolorenöl): 34.9 m³
- Olej smarowy (Schmieröl): 27.7 m³
- Olej antykorozyjny (Korrosionsschutzöl): 4.64 m³
- Olej cylindrowy (Zylinderöl): 15.18 m³

Suma Rechnerisch Werte: $9808.0 + 1001.7 + 91.9 + 91.9 + 336.0 + 1559.8 + 73.8 + 4.85 + 190.6 + 36.2 + 70.8 + 0.0 + 34.9 + 27.7 + 4.64 + 15.18 = 13,347.99 \text{ m}^3$

2. Netto Rauminhalt (Netto objętość, m³):

- Olej ładunkowy (Ladeöl): 9506.0 m³
- Olej ładunkowy rezerwowy (Res Ladeöl): 971.7 m³
- Brudny olej ładunkowy (Schmutzladeöl): 78.2 m³
- Oczyszczacz oleju ładunkowego (Ladeölreiniger): 78.2 m³

- Olej smarowy (Ladeschmieröl): 326.0 m³
- Olej napędowy (Treiböl): 1513.5 m³
- Czysty olej napędowy (Reintriböl): 62.8 m³
- Przelew oleju napędowego (Treibölüberlauf): 4.1 m³
- Olej opałowy (Heizöl): 190.75 m³
- Olej przekładniowy (Getriebeöl): 30.8 m³
- Olej silnikowy (Motorenöl): 60.2 m³
- Zbiornik zużycia oleju napędowego (Treiböl Verbr Beh): 37.0 m³
- Olej brudny (Schmutzmolorenöl): 29.7 m³
- Olej smarowy (Schmieröl): 23.6 m³
- Olej antykorozyjny (Korrosionsschutzöl): 3.94 m³
- Olej cylindrowy (Zylinderöl): 13.0 m³

Suma Netto Rauminhalt: $9506.0 + 971.7 + 78.2 + 78.2 + 326.0 + 1513.5 + 62.8 + 4.1 + 190.75 + 30.8 + 60.2 + 37.0 + 29.7 + 23.6 + 3.94 + 13.0 = 12,929.44 \text{ m}^3$

Tabela 13 Całkowita pojemność zbiorników – Zestawienie Paliw i Mediów

Rodzaj medium	Rechnerisch Werte (Obliczeniowa objętość, m ³)	Netto Rauminhalt (Netto objętość, m ³)
Olej ładunkowy (Ladeöl)	9808.0	9506.0
Olej ładunkowy rezerwowy (Res Ladeöl)	1001.7	971.7
Brudny olej ładunkowy (Schmutzladeöl)	91.9	78.2
Oczyszczacz oleju ładunkowego (Ladeöltreiniger)	91.9	78.2
Olej smarowy (Ladeschmieröl)	336.0	326.0
Olej napędowy (Treiböl)	1559.8	1513.5
Czysty olej napędowy (Reintriböl)	73.8	62.8
Przelew oleju napędowego (Treibölüberlauf)	4.85	4.1
Olej opałowy (Heizöl)	190.6	190.75
Olej przekładniowy (Getriebeöl)	36.2	30.8
Olej silnikowy (Motorenöl)	70.8	60.2
Zbiornik zużycia oleju napędowego (Treiböl Verbr Beh)	-	37.0
Olej brudny (Schmutzmolorenöl)	34.9	29.7
Olej smarowy (Schmieröl)	27.7	23.6
Olej antykorozyjny (Korrosionsschutzöl)	4.64	3.94
Olej cylindrowy (Zylinderöl)	15.18	13.0
Całkowita suma	13,347.99	12,929.44

Uwagi

1. Brakujące dane:

- Zbiornik zużycia oleju napędowego (Treiböl Verbr Beh) nie ma podanej wartości obliczeniowej (Rechnerisch Werte), więc w obliczeniach przyjęto 0.0 m³ dla tej kolumny. Netto objętość (37.0 m³) została uwzględniona w sumie netto.

- Olej opałowy (Heizöl) ma niekompletną wartość obliczeniową dla zbiornika III 8.30 (brak danych), ale netto objętość (5.85 m^3) została uwzględniona w sumie netto, co powoduje niewielką różnicę między sumami (190.6 m^3 vs. 190.75 m^3).

2. Błędy transkrypcji:

- „Schmutzmoorenöl” zinterpretowano jako „Schmutzöl” (olej brudny) lub „Motorenöl” (olej silnikowy), zgodnie z kontekstem.
- „Ladeöltreiniger / Schmutzwasser” uwzględniono jako produkt związany z olejem, mimo powiązania z wodą brudną w dokumencie.

3. Uwagi techniczne:

- Największy udział w sumie ma olej ładunkowy (Ladeöl, 9808.0 m^3), co potwierdza, że statek jest przystosowany do transportu dużych ilości oleju.
- Mniejsze zbiorniki, np. olej antykorozyjny (4.64 m^3) czy przelew oleju napędowego (4.85 m^3), mają minimalny wkład w całkowitą objętość.
- Różnica między sumą obliczeniową ($13,347.99 \text{ m}^3$) a netto ($12,929.44 \text{ m}^3$) wynika z procentu wypełnienia (głównie 97% lub 85%) oraz marginesu projektowego.

4. Precyzja obliczeń:

- Obliczenia przeprowadzono z zachowaniem dokładności do dwóch miejsc po przecinku, zgodnie z danymi w dokumencie.
- Niewielkie rozbieżności (np. w oleju opałowym) wynikają z niekompletnych danych w źródle.

Tabela zawiera sumy dla wszystkich mediów innych niż woda w kolumnach Rechnerisch Werte ($13,347.99 \text{ m}^3$) i Netto Rauminhalt ($12,929.44 \text{ m}^3$). Wyniki uwzględniają wszystkie zbiorniki z dokumentu, z wyjątkiem tych zawierających wodę.

7 Systemy parowe używane również do podgrzewania paliwa w zbiornikach

Statki często wykorzystują systemy parowe do różnych celów, takich jak napędzanie maszyn pomocniczych, ogrzewanie czy systemy bezpieczeństwa. Na tym statku zainstalowano dwa główne typy kotłów: pomocnicze i spalinyowe, które różnią się lokalizacją, specyfikacjami i zastosowaniem. Kotły pomocnicze, zlokalizowane w kotłowni pomocniczej, produkują wysokociśnieniową parę, podczas gdy kotły spalinyowe, umieszczone w przewodach wydechowych silników głównych, wykorzystują ciepło odpadowe. Para jest dystrybuowana do różnych części statku, w tym maszynowni, pomieszczeń mieszkalnych i systemów przeciwpożarowych, co podkreśla ich wszechstronność. Wydajność systemów różni się, co odzwierciedla ich różne role, od zasilania maszyn po ogrzewanie.

7.1 Szczegóły techniczne

Systemy parowe są zaprojektowane z uwzględnieniem bezpieczeństwa i wydajności, z materiałami takimi jak stal i miedź, które wytrzymują wysokie ciśnienia i temperatury. Regularna konserwacja, w tym czyszczenie za pomocą dmuchaw parowych, jest niezbędna, aby utrzymać ich działanie. Systemy te są zgodne ze standardami Germanischer Lloyd, co sugeruje wysoką jakość i niezawodność.

Poniżej przedstawiono szczegółowy opis systemów parowych zainstalowanych na statku, oparty na analizie dokumentu (Bauvorschrift - tłumaczenie.docx), który zawiera szczegółowe specyfikacje techniczne.

7.2 Wprowadzenie

Systemy parowe na statku są kluczowym elementem infrastruktury, wspierającym różne operacje, takie jak generacja energii, ogrzewanie i napęd maszyn pomocniczych. Analiza dokumentu ujawnia dwa główne typy systemów: kotły pomocnicze i kotły spalinyowe, które różnią się konstrukcją, lokalizacją i zastosowaniem. Poniżej przedstawiono szczegółowe informacje, w tym lokalizację, specyfikacje produkcji pary, przeznaczenie, wydajność oraz inne istotne aspekty.

7.3 Opis systemów parowych

7.3.1 Kotły pomocnicze (Auxiliary Boilers)

Statek został wyposażony w zestaw zbiorników przelewowych, rozchodowych oraz w kotły, których zadaniem było podgrzanie paliwa używanego do normalnej pracy statku (kotły pomocnicze) oraz paliwa wydawanego ze statku na inne jednostki pływające.

- Lokalizacja: Znajdują się w kotłowni pomocniczej (auxiliary boiler room), co sugeruje centralne rozmieszczenie do dystrybucji pary.
- Typ: Są to dwa trójogniskowe cylindryczne kotły olejowe, co wskazuje na ich zdolność do efektywnego spalania paliwa.
- Specyfikacje produkcji pary:
 - Ciśnienie robocze: 14 atm., co jest typowe dla wysokociśnieniowych systemów parowych.
 - Temperatura: Para jest przegrzewana do około 270°C za pomocą przegrzewaczy, co zapewnia suchą parę dla pomp, minimalizując ryzyko korozji.
 - Moc: Każdy kocioł produkuje 6,7 ton pary na godzinę (t/h), co daje łącznie 13,4 t/h dla obu kotłów, wystarczające do zasilania wszystkich maszyn pomocniczych.

- Powierzchnia grzewcza: 256 m² na kocioł, co odzwierciedla dużą zdolność do wymiany ciepła.
- Przeznaczenie: Para jest wykorzystywana do napędu parowych maszyn pomocniczych, takich jak pompy, windzie i inne urządzenia pokładowe, a także do celów grzewczych i użytkowych na statku.
- Wydajność i konstrukcja:
 - Zbudowane zgodnie ze standardami Germanischer Lloyd i niemieckimi regulacjami dotyczącymi kotłów parowych, co zapewnia wysoką niezawodność i bezpieczeństwo.
 - Wyposażone w podgrzewacze powietrza (podgrzewające powietrze do ~170°C), prze-grzewacze (system Schmidtschen Heißdampfgesellschaft, z powierzchnią grzewczą 100 m² na kocioł) oraz wentylatory nadmuchowe napędzane hermetyczną turbiną pa-rową (11,3 m/s przy 60 mm słupa wody), co poprawia efektywność spalania.
 - Czystość kotłów jest utrzymywana za pomocą parowych dmuchaw do usuwania sadzy i popiołu z rur i kotwic, co jest kluczowe dla utrzymania wydajności.
- Dodatkowe cechy: Każdy kocioł wyposażony jest w urządzenia bezpieczeństwa, takie jak dwa wskaźniki poziomu wody, zawory próbne, spustowe, pomiaru zasolenia i bezpieczeństwa, oraz różne zawory izolacyjne na kopułach. Poziom wody jest regulowany za pomocą zaworów za-mykających, a woda zasilająca dostarczana jest przez zawory główne i pomocnicze, wykonane z odlewów stalowych z elementami wewnętrznymi ze stali nierdzewnej lub mosiądzu, co za-pewnia odporność na korozję.

7.3.2 Kotły spalinowe (Exhaust Gas Boilers)

- Lokalizacja: Zainstalowane w przewodach wydechowych każdego silnika głównego, z łącznie dwoma kotłami (po jednym dla każdej pary silników głównych), znajdującymi się w pomiesz-czeniu kotłowym, co pozwala na wykorzystanie ciepła odpadowego.
- Typ: Są to kotły wykorzystujące ciepło spalin, co czyni je energooszczędnym rozwiązaniem.
- Specyfikacje produkcji pary:
 - Ciśnienie robocze: 7 atm., z maksymalnym ciśnieniem projektowym 15 atm., co umoż-liwia jednoczesną pracę z kotłami pomocniczymi.
 - Temperatura: Para osiąga temperaturę około 200°C, co jest niższe niż w kotłach po-mocniczych, ale wystarczające do wielu zastosowań.
 - Moc: Każdy kocioł produkuje 530 kg pary na godzinę przy pracy dwóch silników głów-nych (każdy o mocy 4000 KM), co daje łącznie 1060 kg/h dla obu kotłów, co odzwier-ciedla niższą wydajność w porównaniu do kotłów pomocniczych.
 - Powierzchnia grzewcza: 100 m² na kocioł, co jest mniejsze niż w kotłach pomocniczych, co odpowiada ich roli w odzysku ciepła.
- Przeznaczenie: Para z kotłów spalinowych jest wykorzystywana do napędu turbiny parowej generatora (80 kW) podczas rejsów morskich, zasilania pomocniczych pomp chłodzących kon-densatory, ogrzewania pomieszczeń mieszkalnych i innych przestrzeni, a także podgrzewania paliwa i oleju smarnego, co podkreśla ich rolę w oszczędzaniu energii.
- Wydajność i konstrukcja:
 - Kotły są zintegrowane w jedną całość z wspólną przestrzenią wodną, ale z osobnymi ścieżkami gazów dla każdego silnika głównego, co pozwala na elastyczną pracę (można używać wydechu z jednego lub obu silników).

- W przypadku awarii kocioł może być spuszczone i pracować sucho, co zwiększa niezawodność.
- Połączone z kotłami pomocniczymi za pomocą rur łączących, z podwójnymi zaworami zamykającymi (w tym zaworem zwrotnym) po stronie kotłów pomocniczych i pojedynczymi zaworami po stronie kotłów spaliniowych, wszystkie normalnie otwarte i uszczelnione podczas pracy.
- Mały przegrzewacz przed kotłami spaliniowymi podnosi temperaturę pary do $\sim 200^{\circ}\text{C}$, a podgrzewacze wody zasilającej wykorzystują ciepło spalin (do $\sim 180^{\circ}\text{C}$), co poprawia ogólną wydajność.

7.3.3 Systemy rozdziału pary i rurociągi parowe

- Lokalizacja: Rurociągi parowe biegną od kotłów pomocniczych i spaliniowych do różnych części statku, w tym maszynowni, pomieszczeń maszyn pomocniczych, maszyn pokładowych i pomieszczeń mieszkalnych, co zapewnia wszechstronną dystrybucję.
- Przeznaczenie: Rozprowadzają parę do celów energetycznych, grzewczych i przeciwpożarowych, w tym:
 - Napędu parowych pomp, wind (np. winda kotwiczna, windy ładunkowe) i innych maszyn.
 - Ogrzewania pomieszczeń mieszkalnych, warsztatów i innych przestrzeni użytkowych za pomocą kaloryferów i cewników parowych (ciśnienie zmniejszone do 3 atm. do celów grzewczych).
 - Przeciwpożarowego systemu parowego, takiego jak duszenie pary w zbiornikach olejowych i maszynowniach.
 - Podgrzewania paliwa i olejów w różnych systemach, np. podgrzewacze oleju paliwowego i smarnego.
- Ciśnienie i temperatura: Główne ciśnienie pary z kotłów pomocniczych wynosi 14 atm. (przegrzana do 270°C), zmniejszane do 7 atm. dla operacji kotłów spaliniowych i do 3 atm. dla celów grzewczych i niskociśnieniowych. Para dla maszyn pokładowych może być zmniejszona do 12 atm. za pomocą zaworów redukcyjnych.
- Materiały: Rury są wykonane ze stali walcowanej, z elementami rurowymi i zaworami z odlewów stalowych lub żeliwnych, a elementy wewnętrzne ze stali nierdzewnej lub mosiądzu, co zapewnia odporność na korozję i wysokie temperatury.
- Wydajność: Linie parowe obejmują pułapki kondensatu i systemy zwrotne, aby minimalizować straty, z kondensatem kierowanym do kondensatora lub zbiornika wody zasilającej w celu ponownego wykorzystania, co zwiększa ogólną wydajność systemu.

7.3.4 Parowe maszyny pomocnicze

Kilka urządzeń jest napędzanych parą, w tym:

- Pompy: Parowe pompy (np. dwutłoczkowe i jednotłoczkowe) do oleju, wody zasilającej i kondensatu, o przepływnościach od $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ do $31 \text{ m}^3/\text{h}$ i ciśnieniach od 7 do 16 atm..
- Windy: Parowe windzie, takie jak winda kotwiczna z siłą ciągu 50 ton przy 7 atm., windzie ładunkowe z siłą ciągu 4–6 ton przy 7 atm., oraz winda szalupowe (1,5 tony przy 11 m/min z przegrzaną parą przy 11 atm.).

- Lokalizacja: Maszyny te znajdują się w różnych przedziałach, takich jak główna maszynownia, pomieszczenia maszyn pomocniczych oraz na pokładzie (np. dziób dla windy kotwicznej, pokład dla wind ładunkowych).

7.3.5 Systemy ogrzewania parowego

- Lokalizacja: Zainstalowane w pomieszczeniach mieszkalnych, warsztatach, maszynowniach i magazynach, co zapewnia komfort i funkcjonalność.
- Przeznaczenie: Dostarczają ciepło dla komfortu załogi, podgrzewania maszyn oraz utrzymania temperatury płynów, takich jak olej paliwowy i smarny.
- Ciśnienie i temperatura: Para jest redukowana do 3 atm. dla celów grzewczych, co zapewnia bezpieczeństwo i wydajność.
- Urządzenia: Używane są żeliwne kaloryfery z osłonami ochronnymi w pomieszczeniach mieszkalnych oraz stalowe cewniki grzewcze w maszynowniach, z zaworami wlotowymi i wylotowymi, a kondensat jest odprowadzany do systemu wody zasilającej.
- Wydajność: Zaprojektowane tak, aby minimalizować straty ciepła, z izolowanymi rurami i systemami odzysku kondensatu.

7.3.6 Systemy przeciwpożarowe i bezpieczeństwa na bazie pary

- Lokalizacja: Połączone z zbiornikami olejowymi, bunkrami, maszynowniami, kotłowniami, pomieszczeniami pompowymi i magazynami farb, co zapewnia wszechstronną ochronę.
- Przeznaczenie: Używają pary do dławienia pożarów poprzez wypieranie tlenu w zamkniętych przestrzeniach, szczególnie skuteczne przy pożarach olejowych i paliwowych.
- Ciśnienie: Działają przy zmniejszonym ciśnieniu (zwykle 7 atm. lub mniej), dostarczane przez perforowane rury położone ~150 mm nad dnem zbiorników, z zaworami zamykającymi na pokładzie i głównym zaworem w maszynowni.
- Wydajność: Szybka aktywacja i skuteczna izolacja, z parą również wykorzystywaną do suszenia i wentylacji.

7.3.7 Para do produkcji wody

- Lokalizacja: Wysokociśnieniowe odparniki i kondensatory w kotłowni pomocniczej i maszynowniach, co wspiera zaopatrzenie w wodę.
- Przeznaczenie: Produkują wodę pitną (zarówno wodę zasilającą kotły, jak i wodę pitną) przy użyciu pary jako medium grzewczego.
- Specyfikacje pary: Używana jest para o ciśnieniu 8 atm. dla wysokociśnieniowego wyparownika (30 ton/24h) oraz zmniejszona do 1–2 atm. dla procesów wtórnych.
- Wydajność: Obejmuje odzysk kondensatu i ponowne wykorzystanie, z wyparownikami i kondensatorami zaprojektowanymi dla wysokiej wydajności (np. 50 ton/24h dla drugiego systemu wody słodkiej).

7.3.8 Dodatkowe aspekty techniczne

- Materiały: Wszystkie komponenty systemów parowych, takie jak kotły, rury i zawory, są wykonane z materiałów odpornych na wysokie ciśnienia i temperatury, takich jak stal, żeliwo i mosiądz, zgodnie ze standardami Germanischer Lloyd i H.N.A., co zapewnia trwałość i bezpieczeństwo.

- Cechy bezpieczeństwa: Systemy obejmują zawory bezpieczeństwa, reduktory ciśnienia, pułapki kondensatu oraz systemy wentylacyjne awaryjne, takie jak rury wentylacyjne pary na pokład w przypadku pożaru, co minimalizuje ryzyko.
- Konserwacja: Wymaga regularnego czyszczenia, np. za pomocą dmuchaw parowych, i inspekcji, z projektem ułatwiającym dostęp do wymiany i naprawy elementów, co jest kluczowe dla utrzymania wydajności.

7.3.9 Podsumowanie wydajności

Tabela 14 *Wydajność Systemów Parowych – Ciśnienie, Temperatura, Moc, Powierzchnia Grzewcza*

System	Ciśnienie (atm.)	Temperatura (°C)	Moc (t/h lub kg/h)	Powierzchnia grzewcza (m ²)
Kotły pomocnicze	14	270	13,4 t/h (łącznie)	256 (na kocioł)
Kotły spalinowe	7	200	1060 kg/h (łącznie)	100 (na kocioł)

- Kotły pomocnicze działają z wysoką wydajnością dzięki przegrzewaniu i wentylacji wymuszonej, produkując suchą parę przy 270°C i 14 atm., co czyni je idealnymi do napędu maszyn.
- Kotły spalinowe odzyskują ciepło zużyte, osiągając wydajność do 7 atm. i 200°C, choć ich moc jest niższa (530 kg/h na kocioł), co odzwierciedla ich rolę w oszczędzaniu energii.
- Systemy rozdziału pary minimalizują straty poprzez izolację i odzysk kondensatu, a systemy grzewcze i przeciwpożarowe są zaprojektowane do szybkiej reakcji i minimalnego zużycia energii.

7.3.10 Wnioski

Analiza pokazuje, że systemy parowe na statku były dobrze zintegrowane i zaprojektowane z myślą o wydajności, bezpieczeństwie i wszechstronności. Kotły pomocnicze i spalinowe pełnią komplementarne role, wspierając różne operacje, od generacji energii po ogrzewanie i bezpieczeństwo. Regularna konserwacja i zgodność ze standardami, takimi jak Germanischer Lloyd, zapewniają długotrwałe i niezawodne działanie. Jeśli potrzebne są dalsze szczegóły na temat konkretnych komponentów lub podsystemów, można je dostarczyć na żądanie.

7.4 Podgrzewane zbiorniki na statku

7.4.1 Kluczowe punkty

- Dokument "Bauvorschrift - tłumaczenie.docx" opisuje sześć typów zbiorników wyposażonych w systemy podgrzewania.
- Podgrzewanie jest stosowane, aby utrzymać płynność paliwa i olejów, co ułatwia ich użytkowanie.
- Lokalizacje zbiorników są podane w numerach wręg lub grodzi, choć nie zawsze precyzyjnie.

Zbiorniki z określonymi lokalizacjami

Dokument wskazuje, że następujące zbiorniki są podgrzewane i mają określone lokalizacje w numerach wręg:

- Zbiornik oleju opałowego: Znajduje się między wręgami 16–23, podgrzewany za pomocą węzownic grzewczych parą o ciśnieniu 7 atm.
- Zbiornik zużycia oleju opałowego w kuchni: Położony między wręgami 23–29, wyposażony w węzownicę grzewczą zasilaną parą o ciśnieniu 3 atm.
- Zbiorniki spływowe oleju smarowego i chłodzącego silników głównych: Zlokalizowane między wręgami 51–56, podgrzewane węzownicami grzewczymi.
- Bunkry oleju napędowego: Znajdują się między wręgami 81–88 oraz 16–23, prawdopodobnie podgrzewane jako część systemu załadunkowego.

Zbiorniki z mniej precyzyjnymi lokalizacjami

Niektóre zbiorniki mają systemy podgrzewania, ale ich lokalizacje nie są dokładnie określone w numerach wręg:

- Zbiorniki spływowe oleju przekładniowego: Położone w podwójnym dnie między grodziami 47–51. Termin „grodzie” może oznaczać grodzie poprzeczne, a nie wręgi.
- Zbiorniki załadunkowe: Wyposażone w system ogrzewania, ale dokument nie podaje konkretnych numerów wręg.

Cel podgrzewania

Podgrzewanie zbiorników zapewnia płynność paliwa i olejów, co jest kluczowe dla ich pompowania, przechowywania i efektywnego spalania, szczególnie w chłodniejszych warunkach.

7.4.2 Zidentyfikowane zbiorniki podgrzewane

Dokumentacja techniczna opisuje sześć typów zbiorników wyposażonych w systemy podgrzewania. Poniżej przedstawiono ich szczegółowy opis, lokalizacje oraz zawartość.

7.4.2.1 Zbiornik oleju opałowego

- Lokalizacja: Między wręgami 16–23.
- Metoda podgrzewania: Węzownice grzewcze zasilane parą o ciśnieniu zredukowanym do 7 atm., pobieraną z kotłów pomocniczych.
- Zawartość: Olej opałowy używany do zasilania kotłów pomocniczych.
- Cel podgrzewania: Utrzymanie płynności oleju opałowego, co ułatwia jego pompowanie i spalanie:
 - Podgrzewanie jest niezbędne, aby utrzymać paliwo w stanie płynnym, co zapobiega jego zgęstnieniu lub zamarzaniu. Jest to kluczowe dla łatwego pompowania paliwa do silników, kotłów i innych systemów, co zapewnia operacyjną gotowość i bezpieczeństwo.
 - Szczególnie ważne dla oleju opałowego, który w niskich temperaturach może stać się zbyt lepki, co utrudnia jego transfer i spalanie.

7.4.2.2 Zbiorniki spływowe oleju przekładniowego

- Lokalizacja: W podwójnym dnie między grodziami 47–51.
- Metoda podgrzewania: Węzownice grzewcze zamontowane w zbiornikach.
- Zawartość: Używany lub brudny olej z przekładni Vulcan.
- Cel podgrzewania: Utrzymanie oleju w stanie płynnym, co ułatwia jego pompowanie i przetwarzanie.

7.4.2.3 Zbiornik zużycia oleju opałowego w kuchni

- Lokalizacja: W kuchni na pokładzie rufowym, między wręgami 23–29.
- Metoda podgrzewania: Wężownica grzewcza zasilana parą o ciśnieniu 3 atm..
- Zawartość: Olej opałowy używany do kuchenki opalanej olejem.
- Cel podgrzewania: Utrzymanie oleju w odpowiedniej temperaturze dla efektywnego spalania w kuchence.
- Lokalizacja jest precyzyjnie określona w numerach wręg, a zbiornik ma pojemność 150 litrów.

7.4.2.4 Zbiorniki spływowe oleju smarowego i chłodzącego silników głównych

- Lokalizacja: Między wręgami 51–56.
- Metoda podgrzewania: Wężownice grzewcze w zbiornikach w podwójnym dnie.
- Zawartość: Używany olej smarowy i chłodzący z silników głównych.
- Cel podgrzewania: Zapewnienie płynności oleju, co ułatwia jego przetwarzanie i ponowne użycie.

7.4.2.5 Bunkry oleju napędowego

- Lokalizacja: Między wręgami 81–88 oraz 16–23.
- Metoda podgrzewania: Część systemu ogrzewania zbiorników załadunkowych i bunkrowych, prawdopodobnie z wężownicami grzewczymi zasilanymi parą o ciśnieniu 7 atm..
- Zawartość: Olej napędowy używany do zasilania silników głównych i pomocniczych.
- Cel podgrzewania: Utrzymanie płynności oleju napędowego, szczególnie w chłodniejszych warunkach.
- Uwagi: Dokument nie stwierdza jednoznacznie, że bunkry między wręgami 81–88 i 16–23 są podgrzewane, ale są one częścią systemu załadunkowego i bunkrowego, który obejmuje ogrzewanie. Zakłada się, że te bunkry są podgrzewane.

7.4.2.6 Zbiorniki załadunkowe

- Lokalizacja: Nie określono dokładnych numerów wręg.
- Metoda podgrzewania: Wężownice grzewcze z powierzchnią grzewczą około 1 m² na 1 m³ pojemności zbiornika, zasilane parą o ciśnieniu 7 atm..
- Zawartość: Różne rodzaje olejów, w tym olej opałowy i napędowy, używane do załadunku i przechowywania.
- Cel podgrzewania: Utrzymanie płynności olejów, ułatwiając załadunek, rozładunek i przechowywanie.

Tabela 15 Zbiorniki Podgrzewane – Lokalizacja, Metoda, Zawartość, Parametry

Zbiornik	Lokalizacja	Metoda podgrzewania	Zawartość
Zbiornik oleju opałowego	Między wręgami 16–23	Wężownice grzewcze, para 7 atm.	Olej opałowy
Zbiorniki spływowe oleju przekładniowego	Między grodziami 47–51	Wężownice grzewcze	Olej przekładniowy
Zbiornik zużycia oleju opałowego w kuchni	Między wręgami 23–29	Wężownica grzewcza, para 3 atm.	Olej opałowy

Zbiornik	Lokalizacja	Metoda podgrzewania	Zawartość
Zbiorniki spływowe oleju smarowego i chłodzącego	Między wręgami 51–56	Wężownice grzewcze	Olej smarowy i chłodzący
Bunkry oleju napędowego	Między wręgami 81–88 i 16–23	System ogrzewania, prawdopodobnie para 7 atm.	Olej napędowy
Zbiorniki załadunkowe	Nie określono wręg	Wężownice grzewcze, para 7 atm.	Różne oleje

7.4.2.7 Kontekst techniczny i znaczenie podgrzewania

Podgrzewanie zbiorników jest kluczowym elementem systemu paliwowego i olejowego na statku. Utrzymanie płynności paliwa i olejów, szczególnie w niskich temperaturach, zapobiega ich zgęstnieniu, co mogłoby utrudnić pompowanie, spalanie lub przetwarzanie. Systemy podgrzewania są zintegrowane z siecią dystrybucji pary, która zasila również inne systemy, takie jak ogrzewanie pomieszczeń mieszkalnych i maszynowych. Użycie wężownic grzewczych zasilanych parą o ciśnieniu 3–7 atm. wskazuje na wysoką efektywność i zgodność z normami technicznymi, takimi jak wymagania Germanischer Lloyd i Deutsche Kriegsmarine.

7.4.2.8 Podgrzewanie paliwa w innych kontekstach

Dokument opisuje również podgrzewanie paliwa w kilku innych kontekstach, co jest istotne dla różnych systemów. Poniżej szczegółowe informacje:

- Oczyszczacze oleju napędowego:
 - Wyposażone w podgrzewacze przepływowe, podgrzewane parą.
 - Cel: Podgrzewanie paliwa w oczyszczaczach zapewnia optymalną temperaturę do separacji zanieczyszczeń i wody, co poprawia jakość paliwa przed jego użyciem w silnikach głównych i pomocniczych.
 - Znaczenie: Zapobiega zatykaniu się systemów i uszkodzeniom silników, co jest kluczowe dla ich niezawodności.
- Podgrzewacze oleju opałowego:
 - Dwa podgrzewacze z wężownicami grzewczymi są używane w systemie kotłów pomocniczych.
 - Cel: Podgrzanie oleju opałowego przed dostarczeniem do palników, co poprawia atomizację i efektywność spalania.
 - Znaczenie: Lepsze spalanie redukuje emisje i minimalizuje straty paliwa, co jest istotne dla wydajności i zgodności z normami ekologicznymi.
- Kuchenka:
 - Zbiornik zużycia oleju opałowego w kuchni jest wyposażony w wężownicę grzewczą, podgrzewaną parą o ciśnieniu 3 atm.
 - Cel: Utrzymanie paliwa w stanie gotowym do użycia w kuchence olejowej, co zapewnia jego łatwe spalanie.
 - Znaczenie: Zapewnia niezawodność systemu kuchennego, co jest istotne dla codziennych operacji na pokładzie.

Tabela 16 Podsumowanie szczegółów dotyczących podgrzewania paliwa w innych kontekstach:

Kontekst	Metoda podgrzewania	Ciśnienie pary	Cel
Oczyszczacze oleju napędowego	Podgrzewacze przepływowe, para	Nie podano	Oczyszczenie paliwa, separacja zanieczyszczeń
Podgrzewacze oleju opałowego	Wężownice grzewcze, para	Nie podano	Lepsza atomizacja i spalanie
Zbiornik w kuchni	Wężownica grzewcza, para	3 atm.	Utrzymanie paliwa w stanie gotowym

7.4.3 Wnioski

Dokument "Bauvorschrift - tłumaczenie.docx" opisuje sześć typów zbiorników podgrzewanych na statku: zbiornik oleju opałowego (między wręgami 16–23), zbiorniki spływowe oleju przekładniowego (między grodziami 47–51), zbiornik zużycia oleju opałowego w kuchni (między wręgami 23–29), zbiorniki spływowe oleju smarowego i chłodzącego (między wręgami 51–56), bunkry oleju napędowego (między wręgami 81–88 i 16–23) oraz zbiorniki ładunkowe (bez określonych wręg). Podgrzewanie jest realizowane za pomocą wężownic grzewczych zasilanych parą, co zapewnia płynność paliwa i olejów. Niejasności dotyczące terminologii „grodzi” i braku precyzyjnych lokalizacji dla niektórych zbiorników zostały uwzględnione, ale nie wpływają na ogólny obraz systemu podgrzewania.

7.5 Nieodpompowalne resztki paliwa na statku

W opracowaniu szczególną uwagę zwrócono na paliwo, które nie może zostać odpompowane w trakcie normalnej eksploatacji statku a w przypadku wraków statków zawsze pozostaje w zalanych wodą zbiornikach i emulgujące do postaci ciężkiej mieszaniny wody i paliwa zalegająca na dnie zbiorników. Ponieważ w przypadku dużych statków (wraków) ich objętość może iść w setki metrów sześciennych co zawsze ma negatywny wpływ na środowisko naturalne w najbliższej okolicy wraku.

Nieodpompowalne resztki paliwa, czasami określane również jako *sludge* (ang. szlam), to pozostałości paliwa, które pozostają w zbiornikach, rurociągach, filtrach, separatorach lub innych elementach układu paliwowego statku po zakończeniu pompowania lub użytkowania paliwa. Stanowią one istotne wyzwanie w eksploatacji jednostek pływających, zarządzaniu odpadami, ochronie środowiska oraz przestrzeganiu międzynarodowych regulacji morskich, takich jak Konwencja MARPOL. Problem ten dotyczy zarówno armatorów, jak i portów, takich jak Gdańsk, Gdynia czy Świnoujście, które muszą zapewniać odpowiednią infrastrukturę do odbioru odpadów olejowych. Nieodpompowalne resztki paliwa mają wpływ na koszty operacyjne, zgodność z przepisami oraz długoterminowe oddziaływanie na środowisko morskie, szczególnie w przypadku wycieków z wraków, takich jak *Stuttgart* czy *Franken* w Zatoce Gdańskiej.

7.5.1 Definicja i nazewnictwo

7.5.1.1 Czym są nieodpompowalne resztki paliwa?

Nieodpompowalne resztki paliwa to ta część paliwa, która nie może zostać usunięta z układu paliwowego statku za pomocą standardowych pomp lub procedur bunkrowania (tankowania). Obejmują one:

- Osady i szlam (*sludge*): Ciężkie frakcje paliwa, takie jak woski, asfalty, zanieczyszczenia (np. piasek, metale ciężkie), które osadzają się na dnie zbiorników w wyniku sedymentacji.
- Paliwo w „martwych strefach”: Części zbiorników, do których nie sięgają rury ssące pomp, np. narożniki, zagłębienia lub obszary o złożonej geometrii.
- Pozostałości w rurociągach i filtrach: Paliwo uwięzione w przewodach paliwowych, separatorach lub filtrach.
- Paliwo zmieszane z wodą lub zanieczyszczeniami: Emulsje paliwowo-wodne lub mieszaniny z innymi substancjami, które utrudniają pompowanie.

W literaturze morskiej stosuje się różne określenia, w tym:

- Angielskie: *unpumpable fuel residues, sludge, fuel oil residue, tank bottoms*.
- Polskie: *szlam, osady paliwowe, resztki denne, nieodpompowana pozostałość*.

7.5.2 Charakterystyka resztek

Resztki te są zazwyczaj lepkie, gęste i trudne do usunięcia ze względu na ich chemiczną i fizyczną naturę. Mogą zawierać:

- Ciężkie frakcje węglowodorów (np. asfalty, parafiny).
- Zanieczyszczenia mechaniczne (piasek, rdza).
- Wodę, która tworzy emulsje z paliwem.
- Produkty degradacji chemicznej paliwa (np. polimeryzowane związki).

Ich ilość i skład zależą od typu paliwa, konstrukcji statku, procedur eksploatacyjnych oraz czasu przechowywania paliwa w zbiornikach.

7.5.3 Przyczyny powstawania nieodpompowalnych resztek paliwa

Powstawanie nieodpompowalnych resztek paliwa wynika z szeregu czynników technicznych, operacyjnych, środowiskowych i ludzkich. Poniżej przedstawiono szczegółowe omówienie tych przyczyn:

7.5.3.1 Konstrukcja zbiorników paliwowych

- Złożona geometria: Zbiorniki o nieregularnych kształtach, z przegrodami, narożnikami lub zagłębieniami, tworzą „martwe strefy”, gdzie paliwo nie może być wypompowane.
- Lokalizacja rur ssących: Rury ssące umieszczone zbyt wysoko nad dnem zbiornika pozostawiają paliwo poniżej ich poziomu.
- Brak systemów odwadniania: Zbiorniki bez skutecznych systemów usuwania wody lub szlamu sprzyjają gromadzeniu się osadów.
- Pojemność i kształt: Większe zbiorniki generują więcej resztek ze względu na większą powierzchnię osadzania się zanieczyszczeń.

Przykład: Zbiorniki typu *double bottom* (dwupłaszczowe) na tankowcach, z wieloma przegrodami, mogą pozostawiać od 5 do 15 ton resztek, co stanowi 0,5–1,5% pojemności (np. dla zbiornika 1000 ton).

7.5.3.2 Jakość paliwa

- Rodzaj paliwa: Ciężkie oleje opałowe (HFO) zawierają więcej zanieczyszczeń (woski, asfalty) niż lżejsze paliwa, takie jak MGO (*Marine Gas Oil*) czy VLSFO (*Very Low Sulfur Fuel Oil*).
- Zanieczyszczenia: Paliwo z domieszkami wody, piasku, metali ciężkich lub innych substancji zwiększa ilość osadów.

- Stabilność chemiczna: Niekompatybilność chemiczna między różnymi rodzajami paliw (np. przy zmianie z HFO na VLSFO) prowadzi do wytrącania się szlamu.
- Starzenie się paliwa: Długotrwałe przechowywanie paliwa powoduje degradację chemiczną, tworząc osady.

7.5.3.3 Warunki eksploatacyjne

- Czas przechowywania paliwa: Długotrwałe przechowywanie sprzyja sedymentacji ciężkich frakcji.
- Częstotliwość bunkrowania: Rzadsze bunkrowanie prowadzi do gromadzenia się osadów, ponieważ paliwo pozostaje w zbiornikach przez dłuższy czas.
- Warunki pogodowe i ruch statku: Kołysanie podczas sztormów może powodować mieszanie paliwa z wodą lub zanieczyszczeniami, zwiększając ilość szlamu.
- Przełączanie paliw: W regionach o zaostrzonych wymaganiach (np. SECA), zmiana paliw generuje więcej resztek.

7.5.3.4 Procedury konserwacji i czyszczenia

- Brak regularnego czyszczenia: Nagromadzenie szlamu w zbiornikach zwiększa ilość nieodpompowalnych resztek.
- Nieskuteczne systemy filtracji: Słabe separatory lub filtry pozwalają na przedostawanie się zanieczyszczeń do zbiorników.
- Metody pompowania: Użycie nieodpowiednich pomp lub brak systemów próżniowych pozostawia więcej paliwa w zbiornikach.

7.5.3.5 Typ i wiek statku

- Typ statku: Tankowce, masowce czy kontenerowce mają różne systemy paliwowe, co wpływa na ilość resztek. Tankowce mogą mieć więcej problemów w zbiornikach ładunkowych.
- Wiek statku: Starsze jednostki, z mniej zaawansowanymi systemami zarządzania paliwem, generują więcej resztek. Nowoczesne statki z zbiornikami dwupłaszczowymi i zaawansowaną filtracją produkują mniej odpadów.
- Technologia silnika: Silniki spalające ciężkie paliwa (np. dwusuwowe silniki wolnoobrotowe) wymagają paliw o większej zawartości zanieczyszczeń, co zwiększa ilość szlamu.

7.5.3.6 Praktyki bunkrowania

- Jakość dostarczanego paliwa: Paliwo z niektórych portów może zawierać więcej zanieczyszczeń.
- Mieszanie paliw: Bunkrowanie paliwa innego typu niż obecne w zbiorniku prowadzi do wytrącania się osadów.
- Częściowe napełnianie zbiorników: Pozostawia niewykorzystane przestrzenie, gdzie gromadzą się resztki.

7.5.3.7 Czynniki ludzkie

- Szkolenie załogi: Niewystarczające przeszkolenie w zarządzaniu systemami paliwowymi zwiększa ilość resztek.
- Procedury operacyjne: Niewłaściwe bunkrowanie, przełączanie paliw lub czyszczenie zbiorników generuje więcej odpadów.

7.5.4 Szacowana ilość nieodpompowalnych resztek paliwa

7.5.4.1 Procentowa ilość

Szacuje się, że po odpompowaniu paliwa ze zbiorników statku pozostaje od 0,5% do 5% nieodpompowalnych resztek w przypadku nowoczesnych statków. Dla ciężkich paliw, takich jak HFO, wartości te wynoszą 1–3%, a w ekstremalnych przypadkach (np. stare zbiorniki, brak konserwacji) mogą osiągnąć 5–10%. Wartości te zależą od:

- Konstrukcji zbiornika (np. stożkowy vs. płaski dół).
- Rodzaju paliwa (HFO vs. VLSFO).
- Technologii pomp i procedur eksploatacyjnych.

Tabela 17 Szacunkowe Wartości Paliwa Nieodpompowanego – Typ Statku, Procent, Uwagi

Typ statku/paliwa	Szacowany procent (%)	Uwagi
Nowoczesne statki	0,5–5%	Zaawansowane pompy, ogrzewanie
Ciężkie paliwa (HFO)	1–3%	Więcej osadów z powodu lepkości
Ekstremalne przypadki	5–10%	Stare zbiorniki, brak konserwacji

7.5.4.2 Przykłady ilościowe

- Dla zbiornika o pojemności 1000 ton, 0,5–1,5% oznacza 5–15 ton resztek.
- W przypadku tankowców z zbiornikami typu *double bottom*, literatura wskazuje na 5–15 ton resztek na zbiornik, w zależności od jego konstrukcji i konserwacji.

7.5.4.3 Czynniki wpływające na ilość

- Geometria zbiornika: Złożone konstrukcje zwiększają ilość resztek.
- Jakość paliwa: Ciężkie paliwa generują więcej szlamu.
- Częstotliwość czyszczenia: Regularne czyszczenie zmniejsza ilość resztek.
- Technologia pomp: Nowoczesne pompy próżniowe minimalizują resztki.

7.6 Wpływ paliwa nieodpompowanego na środowisko i koszty operacji usuwania

7.6.1 Zagrożenia dla środowiska

- Wycieki: Resztki paliwa w zbiornikach wraków mogą zanieczyszczać dno morskie i ekosystemy przez dziesięciolecia.
- Emulsje paliwowo-wodne: Trudne do oddzielenia mieszaniny zwiększają ryzyko wycieków podczas usuwania.

7.6.1.1 Koszty operacyjne

Współcześnie usuwanie paliwa nieodpompowanego ze statków (w pewnych okolicznościach również wraków) powoduje nieoczekiwane ale znaczne koszty związane z:

- Utylizacja: Koszty przekazywania szlamu do portów i jego utylizacji są wysokie, szczególnie w przypadku dużych statków.
- Konserwacja: Regularne czyszczenie zbiorników wymaga przestojów i nakładów finansowych.

- Kary: Niezgoda na prowadzenie operacji oczyszczania z paliwa niezgodnie z zaleceniami MARPOL może skutkować grzywnami i sankcjami.

7.7 Wpływ powolnych wycieków HDO i paliwa rezydualnego z wraku Franken na środowisko Bałtyku

T/S *Franken* prócz paliwa, które transportował dla innych statków, paliwa, które posiadał w zbiornikach na potrzeby własne miał też dużą ilość paliwa nieodpompowanego, czyli resztki ciężkiego oleju napędowego (HDO), paliwa dieslowskiego tzn. paliwa rezydualnego, które stanowi od 1,5% do 5% objętości zbiorników. Statek przewoził do 9500 ton paliwa, co oznacza, że w zbiornikach mogło znajdować się od 142,5 do 475 ton paliwa rezydualnego. W większości było to paliwo cięższe od wody. Paliwo to mogło - w wyniku mieszania się z wodą morską - tworzyć od 3 do 5 razy większą objętość emulsji, która może zalegać we wraku. Powolne wycieki tych substancji zanieczyszczają dno i wody Morza Bałtyckiego, powodując długotrwałe skutki dla ekosystemu. Poniżej szczegółowo omówiono wpływ tych wycieków oraz ich specyfikę.

7.7.1 Charakterystyka HDO i paliwa rezydualnego

- Ciężki olej napędowy (HDO): Jest to gęste paliwo stosowane w dużych jednostkach morskich, zawierające węglowodory, związki siarki i metale ciężkie. HDO jest bardziej trwałe w środowisku niż lżejsze frakcje ropy, co powoduje długotrwałe zanieczyszczenie.
- Olej opałowy (HFO): Znany również jako mazut lub syntetyczny olej bunkrowy, to pozostałość po rafinacji ropy naftowej. Charakteryzuje się wysoką lepkością, zawartością toksycznych policyklicznych węglowodorów aromatycznych (WWA) oraz metali ciężkich, takich jak wanad czy nikiel. Jego rozkład w środowisku morskim jest powolny, co zwiększa ryzyko kumulacji zanieczyszczeń.

Szacowana ilość paliwa rezydualnego (1,5–5% z 9500 ton) wskazuje na znaczną masę toksycznych substancji, które mogą uwalniać się do środowiska przez dziesięciolecia.

7.7.2 Mechanizm powolnych wycieków

Powolne wycieki z wraku *Franken* wynikają z kilku czynników:

- Korozja zbiorników: Po niemal 80 latach pod wodą stalowe zbiorniki ulegają stopniowemu niszczeniu, co powoduje mikro przecieki paliwa.
- Ciśnienie hydrostatyczne: Ruchy wody i zmiany ciśnienia w głębinach mogą powodować uwalnianie małych ilości paliwa przez nieszczelności.
- Degradacja uszczelek: Elementy uszczelniające zbiorniki, takie jak zawory czy połączenia, z czasem tracą szczelność, umożliwiając wyciek.

Wyciekające paliwo rozprzestrzenia się w toni wodnej lub osiada na dnie, tworząc toksyczne osady. Proces ten jest trudny do monitorowania ze względu na rozproszony charakter wycieków i głębokość położenia wraku.

7.7.3 Wpływ powolnych wycieków na środowisko Bałtyku

Morze Bałtyckie, ze względu na ograniczoną wymianę wód i niską zdolność do samooczyszczania, jest szczególnie narażone na skutki wycieków HDO i paliwa rezydualnego. Wpływ tych substancji można podzielić na kilka kluczowych obszarów:

7.7.4 Zanieczyszczenie dna morskiego

- Toksyczne osady: Paliwo rezydualne osiada na dnie, tworząc warstwy zanieczyszczeń, które niszczą organizmy bentosowe. Szacuje się, że w rejonie wraku może być skażone kilkaset metrów kwadratowych dna.
- Kumulacja WWA: Policykliczne węglowodory aromatyczne są trwałe i bioakumulujące się w organizmach morskich, co prowadzi do zmniejszenia bioróżnorodności i tworzenia martwych stref.
- Metale ciężkie: Wanad, nikiel i inne metale obecne w paliwie rezydualnym odkładają się w osadach dennych, stanowiąc długoterminowe zagrożenie dla ekosystemu.

7.7.5 Zanieczyszczenie toni wodnej

- Rozprzestrzenianie toksyn: Powolne wycieki powodują rozpuszczanie lżejszych frakcji HDO w wodzie, co zmniejsza stężenie tlenu i wywołuje hipoksję. Może to prowadzić do śnięcia ryb i planktonu.
- Toksyczność dla organizmów pelagicznych: WWA i związki siarki są toksyczne dla zooplanktonu, ryb i ssaków morskich, powodując zaburzenia rozrodu, uszkodzenia genetyczne i choroby.
- Skala zanieczyszczenia: Nawet niewielkie wycieki (np. kilka litrów dziennie) mogą zanieczyścić tysiące litrów wody w ciągu roku, zważywszy na niską dynamikę wód Bałtyku.

7.7.6 Zagrożenie dla łańcucha pokarmowego

- Substancje toksyczne z paliwa rezydualnego kumulują się w organizmach morskich, takich jak ryby (np. dorsz, śledź), które są następnie spożywane przez ludzi.
- WWA są kancerogenne, co stwarza ryzyko dla zdrowia konsumentów.
- Ptaki morskie i ssaki, takie jak foki, mogą być narażone na zatrucia poprzez spożywanie skażonych ryb.

7.7.7 Długoterminowe konsekwencje

Jak szczegółowo omówiono w sekcji 7.7.5, WWA są trwałymi i bioakumulującymi się związkami, które w długoterminowym badaniu wykazują efekty kancerogenne.

7.7.8 Szacunkowa skala problemu

Przyjmując, że w zbiornikach *Franken* pozostaje 142,5–475 ton paliwa rezydualnego, nawet minimalne wycieki (np. 0,1% rocznie) oznaczają uwalnianie 0,14–0,475 tony paliwa rocznie. W ciągu 80 lat od zatopienia mogło wyciec od 11,4 do 38 ton paliwa, co wystarczy, by znacząco zanieczyścić lokalny ekosystem.

7.7.9 Wyzwania związane z oczyszczaniem

Usunięcie HDO i paliwa rezydualnego z wraku *Franken* jest skomplikowane z kilku powodów:

- Trudny dostęp: Wrak leży na głębokości, co wymaga użycia zdalnie sterowanych pojazdów podwodnych (ROV) i nurków technicznych.
- Kruchość konstrukcji: Korozja zbiorników zwiększa ryzyko ich uszkodzenia podczas odpompowywania, co może wywołać większy wyciek.

- Wysokie koszty: Operacje oczyszczania są kosztowne – szacuje się, że mogą kosztować miliony euro, w zależności od skali i technologii.
- Logistyka: Proces wymaga precyzyjnego planowania, współpracy międzynarodowej i przestrzegania norm środowiskowych.

7.7.10 Możliwe rozwiązania

Aby ograniczyć wpływ powolnych wycieków, można rozważyć:

- Odpompowanie paliwa: Użycie specjalistycznych pomp i technologii do usunięcia resztek paliwa z zachowaniem szczelności zbiorników.
- Zabezpieczenie wraku: Wzmocnienie konstrukcji lub zastosowanie barier ochronnych, aby zapobiec dalszym wyciekom.
- Monitoring środowiska: Regularne badania chemiczne wód i osadów w rejonie wraku, aby ocenić skalę zanieczyszczenia.
- Współpraca międzynarodowa: Zaangażowanie organizacji takich jak HELCOM oraz funduszy unijnych w finansowanie działań.

7.7.10.1 Podsumowanie

Nieodpompowalne resztki paliwa, zwane również szlamem, są nieuniknionym produktem ubocznym eksploatacji statków, wynikającym z konstrukcji zbiorników, jakości paliwa, procedur operacyjnych i regulacji środowiskowych. Ich ilość szacuje się na 0,5–5% pojemności zbiornika w nowoczesnych statkach, 1–3% dla ciężkich paliw i do 5–10% w ekstremalnych przypadkach.

Powolne wycieki HDO i paliwa rezydualnego z wraku *Franken* stanowią poważne zagrożenie dla Morza Bałtyckiego, zanieczyszczając dno, wody i łańcuch pokarmowy. Szacowana ilość paliwa (142,5–475 ton) oraz jego toksyczność (WWA, metale ciężkie) powodują długotrwałe szkody dla ekosystemu. Ograniczenie wymiany wód w Bałtyku pogłębia problem, a postępująca korozja wraku zwiększa ryzyko większych wycieków. Pilne działania, takie jak odpompowanie paliwa i monitoring, są niezbędne, aby zapobiec dalszej degradacji środowiska i potencjalnej katastrofie ekologicznej.

Literatura:

1. Chinoy, K. H. (2013). Tricks of the bunker trade: Unpumpable fuel, zero dip volume application. Ship & Bunker.
2. Donaldson Company. (n.d.). Dirty fuel damages engines. Donaldson Engine & Vehicle.
3. Federal Register. (n.d.). Vessel incidental discharge national standards of performance.
4. International Maritime Organization (IMO). (n.d.). MARPOL Annex VI – Fuel oil sampling points.
5. Marine Insight. (n.d.). 13 malpractices in bunkering operations seafarers should be aware of.
6. Marine Topics. (n.d.). The MARPOL requirements of oil residues (sludge) tanks.
7. Officer of the Watch. (n.d.). How oily waste is generated onboard vessels.
8. Passagemaker. (n.d.). Diesel fuel tank design.
9. Steamship Mutual. (n.d.). MARPOL Annex VI - Fuel quality requirements.
10. The Liquid Grid. (n.d.). Container ship fuel consumption.
11. Velocity Chemicals. (n.d.). Demulsifying: Handling oil cargo residual waste on tankers.
12. Wikipedia. (n.d.). Fuel tank.

7.8 Emulsyfikacja Paliw w środowisku morskim

7.8.1 Wprowadzenie

Emulsyfikacja paliw w środowisku morskim to kluczowy proces fizyczno-chemiczny, który zmienia zachowanie uwalnianych paliw w wyniku wycieków (np. z wraków) czy rozlewów. Proces polega na mieszaniu oleju z wodą, tworząc dyspersje (stabilne lub niestabilne), które powodują zmianę:

- Objętości
- Lepkości
- Toksyczności
- Wpływu na ekosystemy

Dla wraków takich jak *Franken*, gdzie paliwa pozostają w zbiornikach przez dziesięciolecia, emulsyfikacja stanowi szczególne zagrożenie. Paliwa ulegają długotrwałym przemianom, mogą utworzyć trwałe emulsje typu "mus czekoladowy" (dla paliw ciężkich).

Niniejsza sekcja omawia:

1. Proces emulsyfikacji paliw w wodzie morskiej
2. Zachowanie różnych typów paliw (lekkie, ciężkie, z gazyfikacji węgla)
3. Zmiany właściwości (objętość, lepkość, toksyczność)
4. Wpływ na środowisko Bałtyku i ekosystemy morskie

7.8.2 Proces Emulsyfikacji Paliw w Środowisku Morskim

A. Definicja i Mechanizm Emulsyfikacji

Emulsyfikacja to proces tworzenia trwałej mieszaniny dwóch niemieszających się cieczy. W środowisku morskim olej rozprasza się w wodzie, tworząc drobne kropelki zawieszone w matrycy olejowej.

Typ emulsji zależy od warunków:

- **Woda-w-oleju (W/O):** Kropelki wody zawieszone w fazie olejowej. Typowe dla paliw ciężkich (HFO). Wyglądają jak "mus czekoladowy" – gęste, lepkie, czerwonego koloru.
- **Olej-w-wodzie (O/W):** Kropelki oleju zawieszone w wodzie. Typowe dla paliw lekkich (MDO, LDO). Tworzą cienkie, rozprzestrzeniające się warstwy.

Proces ten jest napędzany przez:

- **Mechaniczne mieszanie:** Fale morskie, prądy i turbulencje rozbijają olej na drobne kropelki, które zostają uwięzione w matrycy olejowej. Intensywność mieszania, związana z warunkami pogodowymi, znacząco wpływa na stopień emulsyfikacji.
- **Stabilizacja:** Naturalne surfaktanty, takie jak asfalteny i żywice obecne w paliwach ciężkich, stabilizują emulsje, zapobiegając separacji faz. W paliwach rafinowanych mogą występować syntetyczne surfaktanty, które dodatkowo wzmacniają stabilność emulsji.
- **Warunki środowiskowe:** Temperatura, zasolenie i dynamika wody mają kluczowy wpływ na proces. Niskie temperatury sprzyjają emulsyfikacji paliw lekkich, zwiększając ich lepkość, podczas gdy wyższe temperatury mogą przyspieszać separację faz w mniej stabilnych emulsjach.

B. Zmiany Fizyczne w Wyniku Emulsyfikacji

Emulsyfikacja prowadzi do znaczących zmian właściwości fizycznych paliw, w tym:

- Zwiększenie objętości: Stabilne emulsje mogą zawierać od 60% do 85% wody, co skutkuje wzrostem objętości paliwa od 3 do 5 razy w porównaniu do pierwotnej objętości (National Research Council, 2003). Na przykład 1 litr oleju ciężkiego może przekształcić się w 3-5 litrów emulsji.
- Zmiana gęstości: Gęstość emulsji wzrasta z około 0,95 g/ml dla czystego oleju do 1,03 g/ml, zbliżając się do gęstości wody morskiej. Powoduje to zawieszenie emulsji w kolumnie wody lub jej opadanie na dno.
- Wzrost lepkości: Lepkość emulsji może wzrosnąć nawet o trzy rzędy wielkości, z kilkuset mPa·s dla czystego oleju do setek tysięcy mPa·s, zmieniając płynny olej w materiał półstały (Fingas & Fieldhouse, 2003).

C. Czynniki Wpływające na Stabilność Emulsji

Stabilność emulsji zależy od szeregu czynników, takich jak:

- Skład chemiczny paliwa: Wysoka zawartość asfaltenów i żywic w paliwach ciężkich sprzyja stabilności emulsji, podczas gdy paliwa lekkie, bogate w lotne węglowodory, rzadziej tworzą trwałe emulsje.
- Warunki środowiskowe: Niskie temperatury i wysokie zasolenie zwiększają stabilność emulsji, podczas gdy wysoka temperatura i spokojne wody mogą prowadzić do separacji faz.
- Czas kontaktu z wodą: Długotrwały kontakt, np. w zbiornikach wraków, sprzyja emulgacji, szczególnie w paliwach ciężkich, które ulegają powolnej degradacji chemicznej.

7.8.3 Zachowanie Różnych Typów Paliw w Długotrwałym Kontakcie z Wodą

Różne typy paliw wykazują zróżnicowane zachowanie w środowisku morskim, szczególnie pod względem skłonności do emulsyfikacji, zmian właściwości i wpływu na ekosystemy. Poniżej omówiono trzy główne kategorie paliw: lekkie, ciężkie oraz pochodzące z gazyfikacji węgla.

7.8.3.1 Paliwa Lekkie (np. Benzyna, Olej Napędowy, MGO)

Paliwa lekkie, takie jak benzyna, olej napędowy (Marine Gas Oil – MGO) czy lekki diesel, charakteryzują się niską lepkością i wysoką lotnością, co wpływa na ich zachowanie w wodzie.

- Emulsyfikacja: Paliwa lekkie rzadko tworzą stabilne emulsje, chyba że w bardzo zimnych warunkach, gdzie niska temperatura zwiększa lepkość i spowalnia parowanie. W większości przypadków dominuje szybkie odparowywanie, prowadzące do utraty do 100% objętości w ciągu godzin (benzyna) lub dni (olej napędowy) (National Research Council, 2003).
- Zmiany objętości: Ze względu na wysoką lotność, emulsyfikacja nie powoduje znaczącego wzrostu objętości. Utrata objętości przez parowanie jest dominującym procesem.
- Właściwości organoleptyczne: Tworzą cienkie, srebrzyste warstwy na powierzchni wody, które szybko znikają. Zapach jest intensywny, ale krótkotrwały z powodu parowania.
- Toksyczność: Zawierają rozpuszczalne w wodzie związki, takie jak benzen, toluen i 2- oraz 3-pierścieniowe wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), które są toksyczne dla organizmów wodnych. Szybkie parowanie ogranicza długotrwałą ekspozycję,

ale frakcje rozpuszczalne mogą powodować ostre efekty toksyczne, takie jak śmiertelność ryb i bezkręgowców.

- Wpływ na środowisko: Największe ryzyko dotyczy kolumny wody, gdzie rozpuszczalne związki toksyczne mogą się rozprzestrzeniać w wyniku mieszania pionowego. Paliwa lekkie nie tworzą kulek smołowych ani trwałych osadów, co ogranicza ich długoterminowy wpływ na środowisko.

7.8.4 Paliwa Ciężkie (np. Olej Bunkrowy C, HFO)

Paliwa ciężkie, takie jak Heavy Fuel Oil (HFO) czy olej bunkrowy C, charakteryzują się wysoką lepkością i zawartością ciężkich węglowodorów, co sprzyja emulsyfikacji.

- Emulsyfikacja: Paliwa ciężkie łatwo tworzą stabilne emulsje typu woda-w-oleju, zwane „musem czekoladowym”, które mogą zawierać 60-85% wody. Proces ten jest napędzany przez wysoką zawartość asfaltenów i żywic, które działają jako naturalne surfaktanty (National Research Council, 2003).
- Zmiany objętości: Objętość emulsji może wzrosnąć 3-5 razy w porównaniu do pierwotnej objętości paliwa. Na przykład 1 litr HFO może przekształcić się w 3-5 litrów emulsji. Lepkość wzrasta dramatycznie, nawet o trzy rzędy wielkości, z setek do setek tysięcy mPa·s, zmieniając płynny olej w materiał półstały.
- Właściwości organoleptyczne: Emulsje są gęste, czerwono-czarne i mają intensywny zapach wynikający z utleniania i degradacji chemicznej. Ich konsystencja przypomina lepki mus, co utrudnia ich usuwanie.
- Toksyczność: Emulsje zwiększają biodostępność toksycznych składników, takich jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Fotooksydacja, wywołana działaniem promieni UV, może prowadzić do powstawania bardziej toksycznych związków, takich jak ketony i aldehydy (Lacaze, 1976). Długotrwała ekspozycja powoduje efekty chroniczne, w tym bioakumulację i biomagnifikację toksyn w łańcuchu pokarmowym.
- Wpływ na środowisko: Wysoka trwałość emulsji prowadzi do zanieczyszczenia wybrzeży, osadów i organizmów morskich. Emulsje mogą tworzyć kulki smołowe, które utrzymują się w środowisku przez lata, powodując długotrwałe szkody ekologiczne. Ich lepkość utrudnia oczyszczanie, zwiększając koszty i czas reakcji.

7.8.4.1 Paliwa z Gazyfikacji Węgla (np. Diesel Fischer-Tropsch, UCC)

Paliwa z gazyfikacji węgla, takie jak syngaz (mieszanina tlenu węgla i wodoru) czy ultra czysty węgiel (Ultra Clean Coal – UCC), są stosowane jako alternatywa dla konwencjonalnych paliw morskich. Ze względu na ograniczoną literaturę, ich zachowanie w wodzie jest słabo zbadane, ale można je porównać do paliw ciężkich lub lekkich na podstawie składu chemicznego.

- Skład i właściwości: Syngaz nie jest zwykle uwalniany do wody, ale UCC, będący syntetycznym paliwem węglowodorowym, może być stosowany jako substytut ciężkich paliw. Diesel Fischer-Tropsch, produkowany w procesie gazyfikacji węgla, przypomina konwencjonalny diesel pod względem właściwości, takich jak wysoki numer cetanowy i niska zawartość siarki (World Nuclear Association, 2021).
- Emulsyfikacja: Brak szczegółowych danych na temat emulsyfikacji UCC w środowisku morskim. Ze względu na złożony skład węglowodorowy, UCC może zachowywać się podobnie do paliw ciężkich, tworząc stabilne emulsje woda-w-oleju. Diesel Fischer-Tropsch prawdo-

podobnie emulguje podobnie do konwencjonalnego diesla, tworząc niestabilne emulsje w zimnych warunkach.

- Zmiany objętości: Jeśli UCC tworzy emulsje, jego objętość może wzrosnąć 3-5 razy, podobnie jak w przypadku paliw ciężkich. Dla diesla Fischer-Tropsch wzrost objętości jest mniej znaczący, analogicznie do lekkich paliw.
- Właściwości organoleptyczne: UCC jest zazwyczaj ciemne i lepkie, ale jego właściwości w stanie zemulgowanym nie są dobrze udokumentowane. Diesel Fischer-Tropsch może tworzyć cienkie warstwy na powierzchni wody, podobne do oleju napędowego.
- Toksyczność: Paliwa z gazyfikacji węgla mogą zawierać złożone węglowodory, metale ciężkie i związki siarki, co sugeruje potencjalną toksyczność porównywalną z paliwami ciężkimi. Emulsyfikacja może zwiększać biodostępność tych związków, podobnie jak w przypadku HFO (Fakness et al., 2015). Diesel Fischer-Tropsch, ze względu na niską zawartość siarki, może być mniej toksyczny niż HFO, ale bardziej toksyczny niż benzyna.
- Wpływ na środowisko: Ograniczona literatura sugeruje, że UCC może powodować długotrwałe zanieczyszczenie, podobnie jak paliwa ciężkie, szczególnie jeśli zawiera trwałe związki. Diesel Fischer-Tropsch prawdopodobnie ma wpływ porównywalny do konwencjonalnego diesla, z ostrym, ale krótkotrwałym oddziaływaniem na kolumnę wody.

7.8.4.2 Smoły Pogazowe (Coal Tars)

Smoły pogazowe, będące produktami ubocznymi gazyfikacji węgla, różnią się od paliw ciekłych, ale mogą występować w środowisku morskim, np. w wyniku historycznych zanieczyszczeń.

- Emulsyfikacja: Smoły pogazowe mają niską tendencję do emulsyfikacji ze względu na wysoką gęstość (1,19-1,24 g/ml) i skłonność do osadzania się na dnie. Zamiast tworzenia emulsji, wypływają toksyczne związki, takie jak WWA, do otaczającej wody.
- Zmiany objętości: Brak znaczącego wzrostu objętości, ponieważ smoły raczej nie tworzą emulsji.
- Właściwości organoleptyczne: Są czarne, lepkie i mają intensywny zapach. W wodzie tworzą osady, a nie warstwy powierzchniowe.
- Toksyczność: Wysoka toksyczność wynika z wypływania WWA, które są bioakumulacyjne i toksyczne dla organizmów bentosowych, takich jak mięczaki i skorupiaki.
- Wpływ na środowisko: Smoły pogazowe zanieczyszczają osady dno, powodując długotrwałe szkody dla ekosystemów bentosowych. Ich wpływ jest bardziej zlokalizowany niż w przypadku emulsji paliw ciężkich, ale równie trwały.

7.8.5 Podsumowanie zmian właściwości paliw w wyniku emulsyfikacji

Emulsyfikacja wywołuje istotne zmiany w fizycznych, chemicznych i organoleptycznych właściwościach paliw, które mają bezpośredni wpływ na ich zachowanie i oddziaływanie na środowisko.

7.8.5.1 Objętość

Emulsyfikacja prowadzi do włączenia wody do paliwa, co znacząco zwiększa jego objętość. Stabilne emulsje mogą zawierać 60-85% wody, powodując wzrost objętości od 3 do 5 razy w porównaniu do pierwotnej objętości paliwa. Na przykład 1 litr oleju ciężkiego może przekształcić się w 3-5 litrów emulsji (National Research Council, 2003). W przypadku paliw lekkich wzrost objętości jest minimalny ze względu na szybkie parowanie.

7.8.5.2 Właściwości Organoleptyczne

- Wygląd: Emulsje paliw ciężkich są gęste, czerwono-czarne lub pomarańczowo-żółte, przypominając „mus czekoladowy”. Paliwa lekkie tworzą cienkie, srebrzyste warstwy, które szybko znikają.
- Lepkość: Emulsyfikacja zwiększa lepkość nawet o trzy rzędy wielkości, zmieniając płynny olej w materiał półstały. Na przykład lepkość HFO może wzrosnąć z kilkuset do setek tysięcy mPa·s (Fingas & Fieldhouse, 2003).
- Zapach: Zapach emulsji może się nasilić z powodu reakcji chemicznych, takich jak utlenianie, choć dane na ten temat są ograniczone. W przypadku paliw ciężkich zapach jest bardziej trwały niż w paliwach lekkich.

7.8.5.3 Toksyczność

Emulsje są bardziej toksyczne niż pierwotne paliwa z kilku powodów:

- Zwiększona biodostępność: Mniejsze rozmiary kropelek w emulsjach zwiększają powierzchnię paliwa, ułatwiając wchłanianie toksycznych związków, takich jak WWA, przez organizmy morskie.
- Produkty fotooksydacji: Ekspozycja na światło słoneczne może prowadzić do tworzenia bardziej toksycznych związków, takich jak ketony i aldehydy, które zwiększają toksyczność emulsji (Lacaze, 1976).
- Długotrwała ekspozycja: Trwałość emulsji, szczególnie w przypadku paliw ciężkich, prowadzi do przedłużonej ekspozycji organizmów morskich na toksyny, powodując efekty chroniczne, takie jak bioakumulacja i biomagnifikacja.

7.8.5.4 Wpływ na Środowisko

- Trwałość: Emulsje są bardziej odporne na parowanie i biodegradację, co prowadzi do długotrwałego zanieczyszczenia środowiska morskiego. W przypadku paliw ciężkich emulsje mogą utrzymywać się przez lata, tworząc kulki smołowe.
- Trudności w oczyszczaniu: Zwiększona lepkość i objętość emulsji wymagają specjalistycznych technik oczyszczania, takich jak mechaniczne zbieranie czy stosowanie dyspergatorów, co zwiększa koszty i czas reakcji.
- Szkody ekologiczne: Emulsje mogą pokrywać organizmy morskie, zmniejszać poziom tlenu w wodzie (np. przez hamowanie wymiany gazowej na powierzchni) i zanieczyszczać osady, powodując znaczące szkody dla ekosystemów.

7.8.5.5 Toksyczność Emulsji

Toksyczność emulsji jest kluczowym zagadnieniem w kontekście wpływu wycieków paliw na środowisko morskie. Emulsje są bardziej toksyczne niż czyste paliwa z następujących powodów:

- Zwiększona rozpuszczalność: Emulsyfikacja ułatwia rozpuszczanie hydrofobowych związków, takich jak WWA, co zwiększa ich dostępność dla organizmów wodnych.
- Większa biodostępność: Mniejsze rozmiary kropelek w emulsjach zwiększają powierzchnię, ułatwiając przenikanie toksyn przez błony biologiczne organizmów.
- Tworzenie toksycznych produktów: Fotooksydacja i inne reakcje chemiczne mogą wytwarzać bardziej toksyczne związki z pierwotnych składników paliwa, takie jak ketony, aldehydy czy związki tlenowe.
- Długotrwała ekspozycja: Trwałość emulsji, szczególnie w przypadku paliw ciężkich, prowadzi do przedłużonej ekspozycji organizmów na toksyny, zwiększając ryzyko efektów chro-

nicznych, takich jak bioakumulacja, biomagnifikacja, problemy reprodukcyjne czy osłabienie układu odpornościowego.

Na przykład emulsje paliw ciężkich są szczególnie problematyczne ze względu na wysoką zawartość WWA, które powodują zarówno ostre efekty toksyczne (np. śmiertelność ryb i bezkręgowców), jak i chroniczne (np. zaburzenia wzrostu i reprodukcji). Emulsje paliw lekkich, choć mniej trwałe, mogą powodować ostre efekty toksyczne z powodu szybkiego rozpuszczania toksycznych frakcji, takich jak benzen czy toluen (Faksness et al., 2015).

7.8.6 Porównanie Właściwości Emulsji dla Różnych Typów Paliw

Poniżej przedstawiono kluczowe różnice w zachowaniu i właściwościach emulsji dla różnych typów paliw i substancji olejowych zalegających w wraków:

Tabela 18 Porównanie Emulsji – Typ Paliwa, Tendencja Emulgacji, Zmiana Objętości, Gęstość, Lepkość, Właściwości, Toksyczność, Wpływ na Środowisko

Typ paliwa/substancji	Tendencja do emulgacji	Zwiększenie objętości	Gęstość (g/ml)	Lepkość (mPa·s)	Właściwości organoleptyczne	Toksyczność	Wpływ na środowisko
Lekkie (np. MGO, diesel)	Rzadka, tylko w zimnych warunkach	Minimalna, dominuje parowanie	0,80-0,95	Kilka setek	Cienkie warstwy, szybkie znikanie	Wysoka dla WWA, krótkotrwała	Ostre ryzyko dla kolumny wody, niska trwałość
Ciężkie (np. HFO)	Wysoka, stabilne emulsje	3-5x	Do 1,03	Setki tysięcy	Czerwono-czarne, lepkie, „mus”	Wysoka, zwiększona 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	Podobna do diesla lub HFO	Podobna do diesla lub HFO	Ciemne, lepkie (brak danych)	Potencjalnie wysoka, brak danych	Możliwe długotrwałe zanieczyszczenie
Smoły pogazowe	Niska, raczej osadzanie	Brak znaczącego wzrostu	1,19-1,24	Wysoka, lepka	Czarne, lepkie osady	Wysoka, przez wyptukiwanie WWA	Długotrwałe zanieczyszczenie osadów bentosowych

7.8.7 Implikacje dla Zarządzania Wyciekami Paliw

Zrozumienie procesów emulsyfikacji i ich wpływu na właściwości paliw jest kluczowe dla opracowania skutecznych strategii reagowania na wycieki. Poniżej przedstawiono kilka praktycznych implikacji:

- **Monitorowanie wraków:** W przypadku wraków, takich jak *Stuttgart* czy *Franken*, konieczne jest regularne monitorowanie stanu zbiorników paliwowych, aby ocenić ryzyko wycieku i potencjalnej emulsyfikacji. Zaawansowane techniki obrazowania podwodnego mogą pomóc w wykrywaniu emulsji w wodzie.

- Techniki oczyszczania: Emulsje paliw ciężkich wymagają specjalistycznych metod, takich jak mechaniczne zbieranie, stosowanie sorbentów czy dyspergatorów. Wysoka lepkość emulsji może ograniczać skuteczność tradycyjnych metod, takich jak skimming.
- Ocena toksyczności: Przed podjęciem działań oczyszczających należy ocenić toksyczność emulsji, szczególnie w przypadku paliw ciężkich i z gazyfikacji węgla, aby zminimalizować szkody dla organizmów morskich.
- Badania paliw syntetycznych: Ograniczona wiedza na temat paliw z gazyfikacji węgla, takich jak UCC czy diesel Fischer-Tropsch, wymaga dalszych badań, aby lepiej zrozumieć ich zachowanie i toksyczność w środowisku morskim.

7.8.8 Podsumowanie

Emulsyfikacja paliw w środowisku morskim to złożony proces, który znacząco zmienia zachowanie, właściwości i wpływ paliw na ekosystemy. Paliwa lekkie rzadko tworzą stabilne emulsje, szybko odparowując i powodując krótkotrwałe, ale ostre efekty toksyczne. Paliwa ciężkie łatwo tworzą trwałe emulsje typu woda-w-oleju, które zwiększają objętość, lepkość i toksyczność, prowadząc do długotrwałego zanieczyszczenia. Paliwa z gazyfikacji węgla, choć słabo zbadane, prawdopodobnie zachowują się podobnie do paliw ciężkich lub lekkich, w zależności od składu. Smoły pogazowe, choć nie tworzą emulsji, zanieczyszczają osady denne przez wypłukiwanie toksycznych WWA.

Zrozumienie tych procesów jest kluczowe dla przewidywania losów i skutków wycieków paliw, szczególnie w kontekście wraków statków, oraz dla opracowania skutecznych strategii reagowania. Dalsze badania, zwłaszcza dotyczące paliw syntetycznych i długoterminowych skutków emulsji, są niezbędne dla ochrony środowiska morskiego.

Literatura:

1. Brakstad, O. G., Nordtug, T., & Throne-Holst, M. (2018). Oil spill response in the Arctic environment: Prospects and challenges. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 568-578.
2. Faksness, L.-G., Altin, D., Nordtug, T., Daling, P. S., & Hansen, B. H. (2015). Relative bioavailability and toxicity of fuel oils leaking from World War II shipwrecks. *Marine Pollution Bulletin*, 94(1-2), 123-130.
3. Fingas, M., & Fieldhouse, B. (2003). Formation of water-in-oil emulsions and application to oil spill modeling. *Journal of Hazardous Materials*, 104(1-3), 9-24.
4. French-McCay, D. P. (2004). Oil spill impact modeling: Development and validation. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(10), 2441-2456.
5. Lacaze, J. C. (1976). Effects of oil dispersants and oil emulsions on marine animals. *ScienceDirect*.
6. National Research Council. (2003). *Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects*. National Academies Press.
7. Passow, U. (2016). Formation of rapidly-sinking aggregates by marine oil snow (MOS). *Marine Ecology Progress Series*, 556, 3-16.
8. Ward, C. P., & Overton, E. B. (2020). The Deepwater Horizon oil spill: A review of the fate and effects of oil in the Gulf of Mexico. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22(1), 1-23.

8 Kroplowy Wyływ Paliwa z Wraku: Analiza Zjawiska i Jego Skutków

Kroplowy wyływ paliwa to proces, w którym paliwo wycieka z uszkodzonych zbiorników w postaci drobnych kropli i rozprasza się na powierzchni wody, tworząc widoczny film paliwowy (plamę). Zjawisko to ma znaczenie dla:

- Oceny wpływu ekologicznego na Morze Bałtyckie
- Planowania działań ratunkowych i neutralizacyjnych
- Monitorowania stanu wraku (diagnostyka przedwczesnych wycieków)

Niniejsza sekcja omawia:

1. Mechanizm powstawania i rozprzestrzeniania się plamy
2. Metody szacowania powierzchni i grubości filmu
3. Czynniki wpływające na rozprzestrzenianie się i trwałość plamy
4. Procesy pogarszania oleju (weathering) w wodzie morskiej
5. Szacunkowy czas utrzymywania się plamy na powierzchni

Dane oparte na wytycznych NOAA, SkyTruth

Nad wrakiem statku T/S Franken od lat widoczne są plamy oleju wydostające się z wraku. Poniżej przedstawione zdjęcia wykonano z drona w roku 2018. Widoczne są dwie plamy utrzymujące się nad rufową nadbudówką wraku T/S Franken.



Rysunek 11 Plamy oleju nad wrakiem źródło: Tomasz Stachura

8.1 Mechanizm Powstawania Plamy Paliwowej

8.1.1 Proces Wycieku i Tworzenie Filmu Paliwowego

Podczas kroplowego wycieku paliwa z wraku każda kropla paliwa, po dotarciu na powierzchnię wody, rozprzestrzenia się, tworząc indywidualną plamę. Suma wielu takich kropli prowadzi do powstania większej plamy paliwowej, widocznej jako cienki film na powierzchni wody. Film ten może przybierać różne formy, od bardzo cienkich warstw (tzw. poświata, ang. sheen) po grubsze, ciemne warstwy oleju. Kluczowym parametrem określającym rozprzestrzenianie się plamy jest grubość filmu paliwowego, która wpływa na powierzchnię zajmowaną przez plamę.

8.1.2 Interferencja Światła i Wykrywanie Wycieków

Ciekawym aspektem jest zjawisko interferencji światła w bardzo cienkich filmach paliwowych (grubość poniżej 0,001 mm). Takie filmy są widoczne jako tęczowe refleksy, co pozwala na wykrycie nawet niewielkich wycieków. Zjawisko to jest szczególnie istotne w monitoringu satelitarnym, gdzie minimalna grubość 1 mikrona (0,001 mm) jest często przyjmowana jako próg widoczności w obrazach SAR (Synthetic Aperture Radar). To umożliwia wczesne wykrywanie wycieków, choć dokładne zmierzenie grubości takich filmów z powietrza jest trudne.

8.1.3 Szacowanie Powierzchni Plamy Paliwowej

8.1.3.1 Podstawy Obliczeń

Powierzchnia plamy paliwowej zależy od objętości wyciekłego paliwa (V) oraz grubości filmu paliwego (h). Matematycznie wyraża się to wzorem:

$$A = \frac{V}{h}$$

gdzie:

- to powierzchnia plamy (w m²),
- (V) to objętość paliwa (w litrach, przeliczana na m³: 1 litr = 0,001 m³),
- (h) to grubość filmu (w mm, przeliczana na metry).

Przyjmując średnią grubość filmu na poziomie 0,01 mm (10 mikronów), można oszacować, że 1 litr paliwa pokryje około 100 m² powierzchni wody

Tabela 19 Przykłady obliczeń

Objętość paliwa (litry)	Grubość filmu (mm)	Powierzchnia (m ²)
1	0,01	100
10	0,01	1000 (0,1 ha)
1	0,1	10
1	0,001	1000

Źródło: Calculator Academy. (n.d.). Oil spill volume calculator.

8.1.4 Kategoryzacja filmów paliwowych

Filmy paliwowe są klasyfikowane na podstawie ich grubości i wyglądu, co ma wpływ na wymagane działania zaradcze. Poniżej przedstawiono główne kategorie.

Tabela 20 Kategoryzacja filmów paliwowych

Kategoria	Grubość (mm)	Wygląd	Poziom reakcji
Plama (sheen)	< 0,005	Tęczowe refleksy	Monitorowanie
Cienka warstwa	0,005–0,025	Metaliczny połysk	Lekkie działania czyszczące
Średnia warstwa	0,025–0,254	Ciemniejsza, możliwe emulsje	Umiarkowane działania czyszczące
Gruba warstwa	> 0,254	Ciemnobrązowa lub czarna	Intensywne działania czyszczące

Źródło: NOAA water oil identification job aid for aerial observation. NOAA Office of Response and Restoration. Każda kategoria ma inne implikacje dla widoczności, trwałości i wpływu na środowisko, co pozwala dostosować strategię reagowania.

8.1.5 Klasyfikacja Grubości Filmu Paliwowego

Zgodnie z wytycznymi NOAA, filmy paliwowe można sklasyfikować na podstawie ich wyglądu i grubości.

Tabela 21 Klasyfikacja grubości filmu paliwowego

Kategoria	Opis	Grubość (mm)	Uwagi
Poświata (Sheen)	Bardzo cienka warstwa, tęcze refleksy	< 0,005 (5 mikronów)	Najczęściej widoczna w późnych stadiach wycieku
Cienki film	Metaliczny połysk, widoczny gołym okiem	0,005–0,025 (5–25 mikronów)	Łatwy do wykrycia z powietrza
Średni film	Barwa przejściowa, ciemniejszy	0,025–0,254 (25–254 mikronów)	Może zawierać emulsje wody i oleju
Gruby film	Ciemny, brązowy lub czarny	> 0,254 (254 mikronów)	Wymaga intensywnych działań ratunkowych

Źródło: NOAA Open Water Oil Identification Job Aid.

Dla pojedynczej kropli paliwa o średnicy 2 mm (objętość około 4,19 mikrolitrów), przy grubości filmu 0,01 mm, powierzchnia plamy wynosi około 42 cm². To pokazuje, jak szybko suma wielu kropeł może stworzyć znaczącą plamę.

8.1.6 Czynniki Wpływające na Rozprzestrzenianie się Plamy

Rozprzestrzenianie się plamy paliwowej jest determinowane przez szereg czynników środowiskowych i właściwości fizycznych paliwa. Główne z nich to:

8.1.6.1 Warunki Środowiskowe

- Wiatr i prądy wodne: Mogą ograniczać rozprzestrzenianie się paliwa, powodując jego koncentrację w określonych obszarach lub fragmentację plamy. W warunkach silnego wiatru plama może być mniej rozległa, ale bardziej skoncentrowana.
- Fale: Powodują rozbijanie plamy na mniejsze fragmenty, co może zmniejszać jej widoczność i powierzchnię.
- Temperatura: Wyższe temperatury przyspieszają parowanie lżejszych frakcji paliwa, co wpływa na zmniejszenie powierzchni plamy.

8.1.6.2 Właściwości Paliwa

- Typ paliwa: Różne rodzaje paliw (np. benzyna, olej napędowy, ciężka ropa) mają różną lepkość i zdolność do rozprzestrzeniania się. Lżejsze paliwa, takie jak benzyna, rozprzestrzeniają się szybciej, tworząc cieńsze filmy, podczas gdy ciężkie oleje tworzą grubsze, bardziej trwałe warstwy.
- Gęstość i lepkość: Paliwa o niższej lepkości (np. benzyna) rozprzestrzeniają się łatwiej niż te o wyższej lepkości (np. paliwo bunkrowe).

8.1.6.3 Niepewność Szacunków

Ze względu na zmienne warunki, szacunki powierzchni plamy mogą być obarczone błędem. Według SkyTruth, błędy w oszacowaniu objętości wycieku mogą wynosić nawet 10-krotność wartości szacowanej, co przekłada się na niepewność w obliczeniach powierzchni.

8.1.7 Czynniki Wpływające na Trwałość Filmu Olejowego

Trwałość filmu olejowego na powierzchni wody zależy od kilku kluczowych czynników, które determinują, jak długo plama pozostaje widoczna i jakie procesy wpływają na jej zanikanie. Są to:

8.1.7.1 Rodzaj Oleju

Oleje można podzielić na trwałe (persistent) i nietrwałe (non-persistent):

- Nietrwałe oleje (np. benzyna, nafta): Szybko parują, co powoduje, że film znika w ciągu godzin do dni.
- Trwałe oleje (np. ciężka ropa naftowa, paliwo bunkrowe): Nie parują łatwo i mogą tworzyć stabilne emulsje, co wydłuża ich obecność na powierzchni nawet do miesięcy.

Przykładowo, benzyna może całkowicie wyparować w ciągu kilku godzin, podczas gdy ciężkie oleje mogą tworzyć emulsje zwane „chocolate mousse”, które utrzymują się przez tygodnie lub miesiące.

8.1.7.2 Wielkość Wycieku

Mniejsze wycieki, takie jak kropłowe wycieki z wraków, są widoczne przez krótszy czas, ponieważ paliwo rozprzestrzenia się na mniejszym obszarze i szybciej ulega parowaniu lub rozproszeniu. Większe wycieki, takie jak katastrofa Deepwater Horizon, mogą pozostawiać widoczny film przez tygodnie lub miesiące.

8.1.7.3 Warunki Środowiskowe

- Temperatura: Wyższe temperatury przyspieszają parowanie lżejszych frakcji, skracając czas widoczności filmu. Na przykład w ciepłych wodach Zatoki Meksykańskiej olej paruje szybciej niż w zimniejszych regionach.
- Wiatr i fale: Rozbijają olej na mniejsze krople, które mieszają się z wodą, skracając czas widoczności filmu. W spokojnych warunkach olej pozostaje na powierzchni dłużej.
- Prądy wodne: Rozprzestrzeniają olej na większym obszarze, co może sprawić, że film staje się cieńszy i mniej widoczny.

8.2 Procesy Pogarszania Oleju (Weathering)

Procesy pogarszania oleju (weathering) to naturalne mechanizmy, które wpływają na zanikanie filmu olejowego na powierzchni wody. Główne procesy obejmują:

8.2.1 Parowanie (Evaporation)

Najszybszy proces, szczególnie istotny w pierwszych dniach po wycieku. Lżejsze frakcje oleju, takie jak benzyna, mogą wyparować w ciągu kilku godzin. Według badań US EPA, parowanie jest dominującym procesem dla nietrwałych olejów.

8.2.2 Rozproszenie (Dispersion)

Wiatry i fale rozbijają olej na małe krople, które mieszają się z wodą. Proces ten jest szczególnie intensywny w warunkach burzowych i może prowadzić do usunięcia oleju z powierzchni w ciągu dni do tygodni.

8.2.3 Emulsyfikacja

Tworzenie emulsji woda-w-oleju (tzw. „chocolate mousse”) znacznie wydłuża czas obecności oleju, zwłaszcza dla ciężkich olejów. Emulsje te mogą utrzymywać się na powierzchni przez miesiące, a nawet lata.

8.2.4 Biodegradacja

Powolny proces, w którym mikroorganizmy rozkładają olej. Trwa od tygodni do miesięcy, w zależności od temperatury wody i dostępności mikroorganizmów. Jest mniej istotny w krótkim okresie, ale odgrywa rolę w długoterminowym usuwaniu oleju.

8.3 Szacunkowy Czas Trwania Filmu Olejowego

Czas, przez który film olejowy pozostaje widoczny na powierzchni wody, zależy od rodzaju oleju i warunków środowiskowych. Szacunkowe wartości dla różnych typów olejów przedstawiono poniżej:

Rodzaj oleju	Typowy czas trwania filmu na powierzchni
Benzyna, nafta	Godziny do dni
Olej napędowy, lekka ropa	Dni do tygodni
Ciężka ropa, paliwo bunkrowe	Tygodnie do miesięcy, czasem lata (emulsje)

Źródło: National Center for Biotechnology Information. (2003). *Behavior and fate of oil - Oil in the sea III*. NCBI Bookshelf.

8.3.1 Przykłady

- Małe wycieki (np. kroplowe z wraków): Film olejowy jest widoczny przez dni do tygodni, w zależności od warunków. Badania NOAA wskazują, że ponad 90% diesla z małego wycieku może wyparować lub rozproszyć się w ciągu kilku godzin do dni.
- Duże wycieki (np. Deepwater Horizon): Olej był widoczny na powierzchni przez kilka tygodni po zatamowaniu wycieku w lipcu 2010 roku, a niektóre ślady były obecne jeszcze w sierpniu 2010 roku.

8.4 Wnioski

Kroplowy wypływ paliwa z wraku prowadzi do powstania plamy paliwowej, której powierzchnia i trwałość zależą od objętości wycieku, grubości filmu oraz czynników środowiskowych. Szacowanie powierzchni plamy opiera się na formule

$$A = V/h$$

gdzie:

- średnia grubość filmu wynosi około 0,01 mm, co daje powierzchnię 100 m² na litr paliwa.

Czynniki takie jak wiatr, fale, temperatura i rodzaj paliwa wpływają na rozprzestrzenianie się i trwałość plamy. Procesy pogarszania oleju, takie jak parowanie, rozproszenie, emulsyfikacja i biodegradacja, determinują czas utrzymywania się filmu, który może wynosić od godzin (dla lekkich olejów) do miesięcy (dla ciężkich olejów i emulsji).

Zjawisko interferencji światła w cienkich filmach umożliwia wykrywanie nawet niewielkich wycieków, co jest kluczowe dla monitoringu i działań ratunkowych. Jednak niepewność związana z warunkami środowiskowymi wymaga uwzględnienia marginesu błędu w szacunkach. Wiarygodne źródła, takie jak

NOAA, SkyTruth oraz ITOPF, dostarczają spójnych danych, które pozwalają na dokładną analizę i planowanie odpowiedzi na wycieki paliwa.

Literatura:

1. Adhikari, P. L., Olson, P. L., & Reddy, C. M. (2016). Weathering of oil spilled in the marine environment. *Oceanography*, 29(3), 126–135. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2016.77>
2. Bureau of Ocean Energy Management. (n.d.). *How BOEM calculates oil spill risk*. BOEM.gov. <https://www.boem.gov/how-boem-calculates-oil-spill-risk>
3. Calculator Academy. (n.d.). *Oil spill volume calculator*. Calculator Academy. <https://calculator.academy/oil-spill-volume-calculator/>
4. Diaz, R., & Monaldo, F. (n.d.). *Detecting oil thickness to aid oil spill response*. NASA Applied Sciences. <https://appliedsciences.nasa.gov/our-impact/news/detecting-oil-thickness-aid-oil-spill-response>
5. Environmental Protection Agency. (n.d.). *Document display (PURL)*. National Service Center for Environmental Publications. <https://nepis.epa.gov>
6. European Maritime Safety Agency. (n.d.). *A new technique to estimate initial spill size using a modified Fay-type spreading formula* [PDF]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/A_new_technique_to_estimate_initial_spill_size_using_a_modified_fay-type_spreading_formula
7. International Tanker Owners Pollution Federation. (n.d.). *Weathering*. ITOPF. <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/weathering/>
8. Math Central. (n.d.). *A spill of oil on a flat surface*. University of Regina. <http://mathcentral.uregina.ca>
9. McNutt, M. K., Chu, S., Lubchenco, J., Hunter, T., Dreyfus, G., & Murawski, S. A. (2012). Applications of science and engineering to quantify and control the Deepwater Horizon oil spill. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(50), 20222–20228. <https://www.jstor.org/stable/41830258>
10. National Center for Biotechnology Information. (2003). *Behavior and fate of oil - Oil in the sea III*. NCBI Bookshelf. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK220780/>
11. National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). *How NOAA responds to oil spills*. NOAA Office of Response and Restoration. <https://response.restoration.noaa.gov/how-noaa-responds-oil-spills>
12. National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). *Oil fact sheets for spill responders*. NOAA Office of Response and Restoration. <https://response.restoration.noaa.gov/oil-fact-sheets-spill-responders>
13. National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). *Oil spills*. NOAA. <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/oil-spills>
14. National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). *Open water oil identification job aid for aerial observation*. NOAA Office of Response and Restoration. <https://response.restoration.noaa.gov/open-water-oil-identification-job-aid-aerial-observation>
15. National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). *Surface oiling descriptors - thickness*. NOAA Office of Response and Restoration. <https://response.restoration.noaa.gov/surface-oiling-descriptors-thickness>
16. National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). *Science for solutions: Strengthening oil spill assessment and response through new research, technology, and partnerships*. NOAA's Office of Response & Restoration Blog. <https://blog.response.restoration.noaa.gov/science-solutions-strengthening-oil-spill-assessment-and-response-through-new-research>
17. National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). *Weathering processes affecting spills*. NOAA Office of Response and Restoration. <https://response.restoration.noaa.gov/weathering-processes-affecting-spills>

-
18. National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). *What does it take to clean up the cleanup from an oil spill?* NOAA Office of Response and Restoration. <https://response.restoration.noaa.gov/what-does-it-take-clean-cleanup-oil-spill>
 19. National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). *What is weathering?* NOAA Office of Response and Restoration. <https://response.restoration.noaa.gov/what-weathering>
 20. National Oceanic and Atmospheric Administration. (2010, June 10). *Deepwater Horizon oil spill timeline*. NOAA Office of Response and Restoration. <https://response.restoration.noaa.gov/deepwater-horizon-oil-spill-timeline>
 21. National Oceanic and Atmospheric Administration. (2020, April 20). *How thick is the oil slick?* NOAA's Office of Response & Restoration Blog. <https://blog.response.restoration.noaa.gov/how-thick-oil-slick>
 22. National Oceanic and Atmospheric Administration Fisheries. (2020, April 20). *Deepwater Horizon 10 years later: 10 questions*. NOAA Fisheries. <https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/deepwater-horizon-10-years-later-10-questions>
 23. Oil Spill Prevention. (n.d.). *Oil spill prevention and response*. OilSpillPrevention.org. <https://oilspillprevention.org>
 24. PetroEd Multimedia, Inc. (n.d.). *Oil spill volume estimation*. PetroEd. <https://www.petroed.com/oil-spill-volume-estimation>
 25. ScienceDirect. (n.d.). *Oil film thickness - an overview*. ScienceDirect Topics. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/oil-film-thickness>
 26. ScienceDirect. (n.d.). *Water film thickness measurement system for oil-water pipe flow*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092442471830001X>
 27. SkyTruth. (n.d.). *How we determine oil spill volume*. SkyTruth. <https://skytruth.org/how-we-determine-oil-spill-volume/>
 28. Tarique, A., & Ahmad, S. (2017). Weathering of oil spill: Modeling and analysis. *Procedia Engineering*, 194, 258–263. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581732843X>
 29. Toppr. (n.d.). *Due to effect of interference, floating oil layer in water is visible coloured*. Toppr. <https://www.toppr.com/ask/question/due-to-effect-of-interference-floating-oil-layer-in-water-in-visible-coloured/>