



WSTĘPNY PLAN OCZYSZCZANIA WRAKU T/S FRANKEN





Wydawca

Fundacja MARE
z siedzibą w Warszawie przy
Al. Komisji Edukacji Narodowej 19/27
02-797 Warszawa

Partner merytoryczny

Instytutu Morski w Gdańsku
ul. Długi Targ 41/42
80-830 Gdańsk

WSTĘPNY PLAN OCZYSZCZANIA WRAKU T/S FRANKEN

na podstawie danych zebranych w czasie ekspedycji badawczej przeprowadzonej w dniach 23-28 kwietnia 2018 roku w ramach projektu „Redukcja negatywnego wpływu wycieków paliwa z wraku tankowca Franken”

Autor:

dr inż. **Benedykt Hac** Pomiary Morskie / ul. Benisławskiego 22A/8, 81-173 Gdynia

Badania osadów dennych: dr Grażyna Dembska

Opracowanie graficzne i skład:

Agencja Wydawnicza Ekopress
Andrzej Poskrobko

Zdjęcia z okładki:

© Sławomir Paćko

CZERWIEC 2018

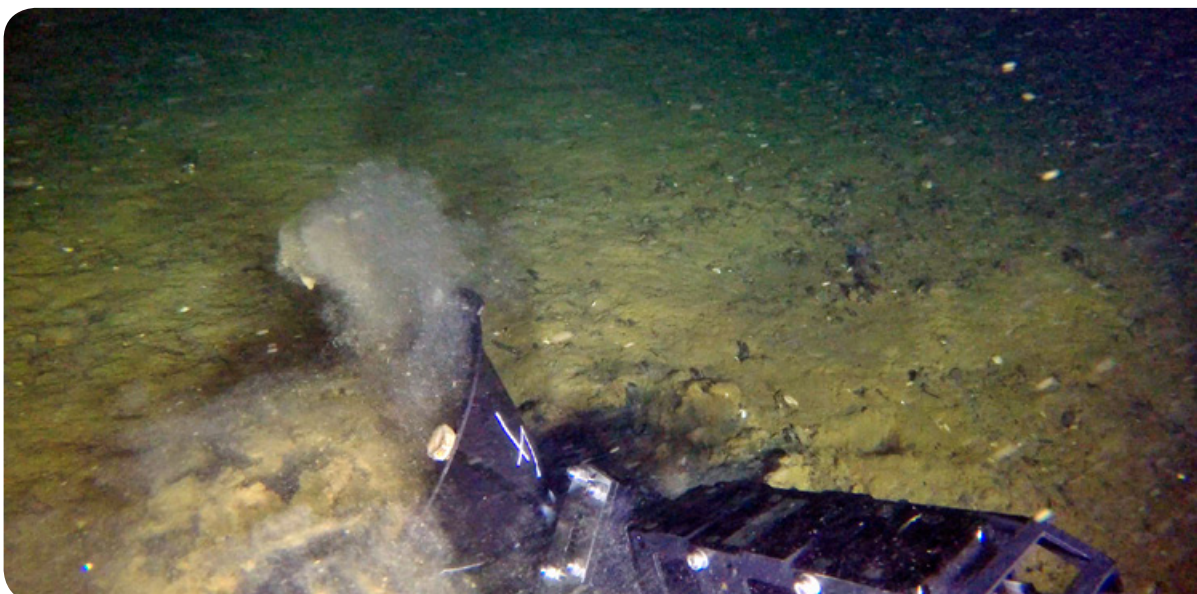
Raport wydany w ramach projektu „Redukcja negatywnego wpływu wycieków paliwa z wraku tankowca Franken” finansowanego przez Baltic Sea Conservation Foundation

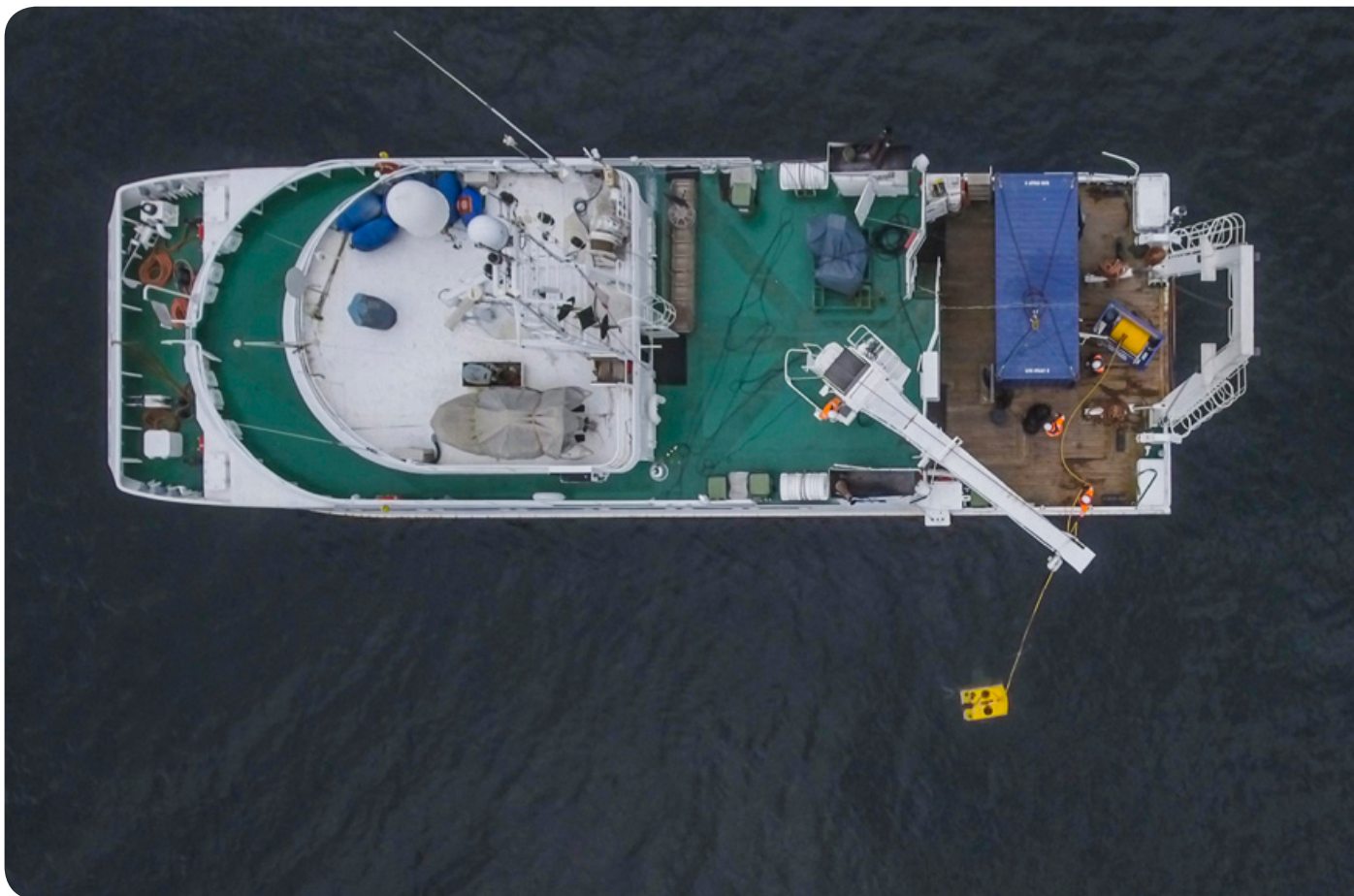


SPIS TREŚCI

Wstęp	5
1 Opis wraku statku FRANKEN	5
1.1 Lokalizacja wraku	5
1.2 Dane techniczne tankowca Franken	7
1.3 Ostatnie dni okrętu, historia zatonięcia	9
2 Wrak statku Franken	11
3 Wyniki pomiarów akustycznych	15
3.1 Sonarowy obraz dna w miejscu zalegania wraku	15
3.2 Analiza procesów niszczenia wraku w oparciu o wykonane sonogramy i echogramy z echosondy wielowiązkowej	17
4 Narzędzia użyte do wykonania pomiarów na wraku Franken	19
4.1 Metodyka pomiarów	19
4.2 Statek badawczy i sprzęt pomiarowy	19
5 Prace pomiarowe i badawcze wykonane na wraku statku FRANKEN	21
5.1 Działania nurkowe – statek LITORAL	21
5.2 Działania pomiarowe – statek IMOR	21
5.3 Opis wybranych elementów zadań zrealizowanych przez grupy nurkowe	22
5.3.1 Wykonanie dokumentacji fotograficznej na potrzeby filmu i zdjęć dla PR (komunikacyjnych) oraz fotografii technicznych	22
5.3.2 Wykonanie dokumentacji fotograficznej na potrzeby mozaiki dokumentacyjnej	23
5.3.3 Wykonanie obserwacji (inspekcji) części wraku zawierającej zbiorniki	24
5.3.4 Poszukiwania miejsc w których widoczne jest paliwo – pobór próbek	32
6 Zadania realizowane przez załogę statku IMOR i grupę obsługującą pojazdy podwodne	33
6.1 Wystawienie lamp oświetleniowych na pozycji wraku	33
6.2 Wykonanie dokumentacji fotograficznej za pomocą kamer ROV	33
6.2.1 Wykonanie zdjęć technicznych do mozaiki	34
6.2.2 Wykonanie pomiarów grubości blachy	36
6.2.3 Wykonanie pomiarów kamerą akustyczną	37
7 Pobór prób gruntu do badań chemicznych	39
7.1 Metodyka badań wód i osadów	41
7.2 Wyniki badań	42
7.3 Porównanie uzyskanych wyników badań z wartościami granicznymi wynikającymi z odpowiednich uregulowań prawnych	43
7.4 Podsumowanie	44

8	Zagrożenia dla przyszłej operacji oczyszczania	45
9	Wnioski z badań przeprowadzonych w trakcie ekspedycji	47
10	Przegląd znanych metod oczyszczania wraków, których charakterystyka odpowiada wrakowi statku FRANKEN	50
10.1	Porównanie metod i propozycje oczyszczenia zbiorników z paliwa wraku Franken	50
10.1.1	Zasypywanie wraku i skażonego osadu	51
10.1.2	Odpompowanie paliwa z wraku z użyciem systemów nurkowych technologią <i>hot-tapping</i>	51
10.1.3	Odpompowanie paliwa z wraku z użyciem zdalnych systemów (ROV) z technologią <i>hot-tapping</i>	51
10.2	Szczegółowa analiza każdej z proponowanych metod	52
10.2.1	Przykrywanie skażonego obszaru (<i>capping</i>)	52
10.2.2	<i>Hot-tapping</i> i pompowanie paliwa ze zbiorników wraku z użyciem systemów nurkowych lub zdalnie sterowanych ROV	55
10.3	Technologie dodatkowe, wspomagające usuwanie paliwa	60
10.3.1	Zapory pływające (<i>booms</i>)	61
10.3.2	Zbieracze (<i>skimmers</i>)	61
10.3.3	Inne pompy	61
10.3.4	Separatory oleju, wody i osadu	62
10.3.5	Pozostałe technologie	62
11	Koszty ogólne	63
11.1	Czynniki wpływające na sposób planowania operacji oczyszczania wraków z paliwa	63
11.2	Ogólny schemat postępowania z wrakami potencjalnie niebezpiecznymi	66
11.3	Wstępny szacunek kosztów operacji oczyszczenia wraku z paliwa zalegającego w zbiornikach	69
	Literatura	71





fot. K. Bielatowicz

WSTĘP

W dniach 23-28 kwietnia 2018 roku w ramach projektu „Redukcja negatywnego wpływu wycieków paliwa z wraku tankowca Franken” realizowanego w oparciu o finansowanie od Baltic Sea Conservation Foundation (BALTCF) przeprowadzona została ekspedycja na wrak niemieckiego tankowca FRANKEN, znajdującego się w centralnej części Zatoki Gdańskiej. Celem przeprowadzonego badania było zgromadzenie możliwie jak największej ilości zdjęć, filmów oraz wszelkich informacji o wraku, które po zebraniu, opracowaniu i końcowym przetworzeniu posłużyły do wytworzenia spójnego, technicznego opisu aktualnego stanu tego obiektu.

Głównym celem raportu jest pokazanie i omówienie wyników ekspedycji. Można to osiągnąć przez opracowanie danych pomiarowych, materiałów fotograficznych oraz pobranych prób dna w okolicy wraku Franken zgodnie z założeniami *Projektu*. Analiza przeprowadzonych działań oraz wyniki badań mają posłużyć do zrealizowania dwóch głównych celów *Projektu* tj.:

- 1) ograniczenia możliwości katastrofy ekologicznej w Zatoce Gdańskiej poprzez **opracowanie i przygotowanie najlepszego technicznego i bezpiecznego dla środowiska planu oczyszczenia wraku statku Franken** z paliwa pozostającego w jego zbiornikach,
- 2) do zmobilizowania woli politycznej administracji morskiej na obszarze, na którym zalega wrak, jak i politycznych decydentów (Sejm, Senat, Ministerstwo Środowiska, Wojewoda i Marszałek województwa Pomorskiego) do przejęcia odpowiedzialności za zabezpieczenie wraku oraz podjęcie działań mitygujących ryzyko wielkiego rozlewu olejowego w obszarze Zatoki Gdańskiej. Przygotowanie planu oczyszczania wraku ma za zadanie pokazanie decydentom skali przedsięwzięcia, możliwych rozwiązań wraz ze wstępnym szacunkiem kosztów takiej operacji.

1 OPIS WRAKU STATKU FRANKEN

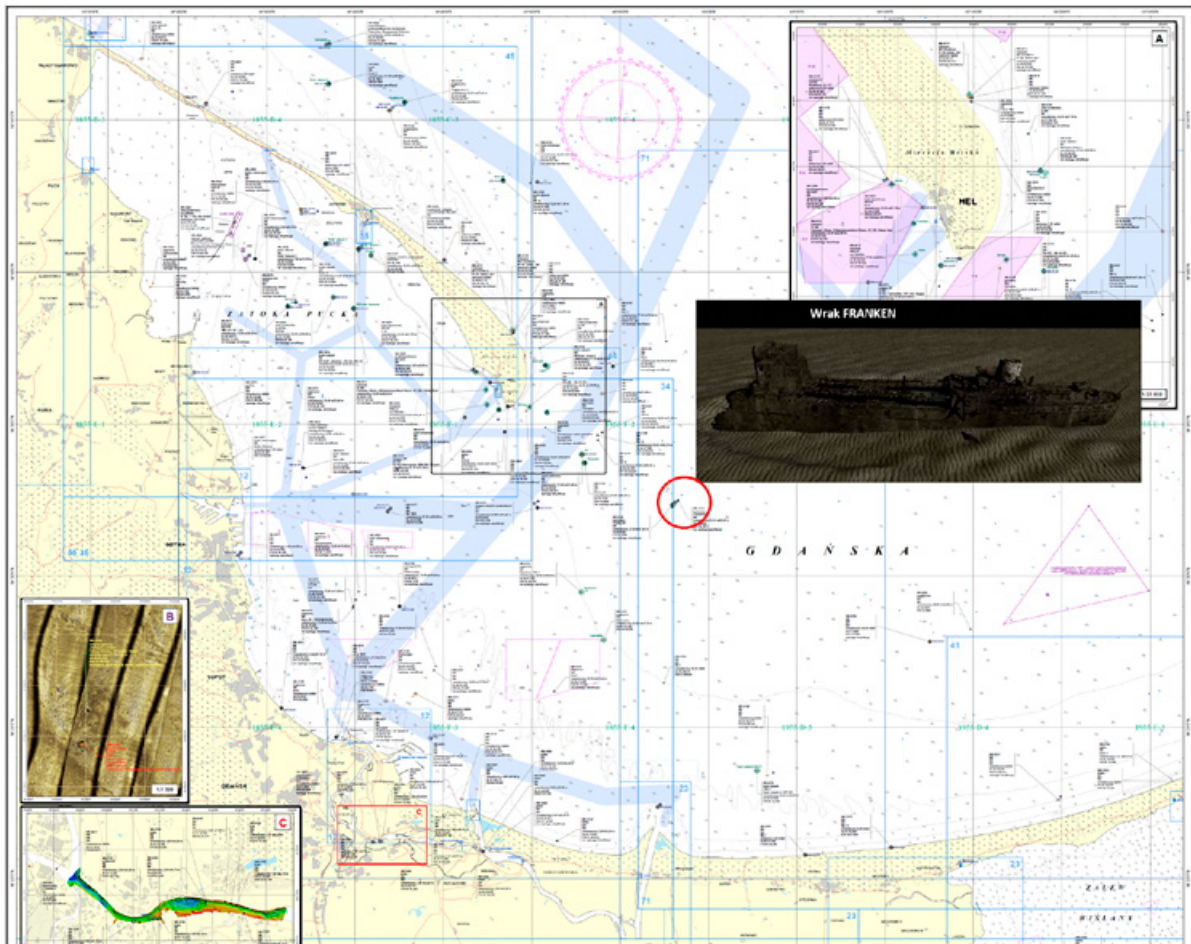
1.1 Lokalizacja wraku

W dniu 8 kwietnia 1945 roku, na południe od redy portu HEL, rosyjskie samoloty szturmowe 11 wspierane przez grupę samolotów Douglas A-20 i Pe zatopiły niemiecki statek wsparcia logistycznego T/S Franken (okręt zaopatrzeniowy – niem. *Troßschiff*). Przybliżona pozycja wraku była znana hydrografom od momentu jego zatonięcia. Znali ją również rybacy, którzy tracili na wraku swoje sieci. Jednakże przez wiele lat nie było środków technicznych umożliwiających wystarczająco precyzyjne określenie pozycji tego obiektu. Dokładna pozycja wraku została po raz pierwszy określona dopiero w latach 80-tych XX wieku (Rysunek 1).

W bazie danych wraków Biura Hydrograficznego Marynarki Wojennej wrak widnieje pod nazwą WK-0140 (Rysunek 1), posiada status *aktywny/jawny* oraz kategorię *przeszkoda*. Wrak został również umieszczony w wykazie wraków udostępnionych do nurkowania. Pozycja wraku w danych BHMW to:

$\varphi = 54^{\circ} 32' 19,452''$ N $\lambda = 18^{\circ} 57' 57,024''$ E

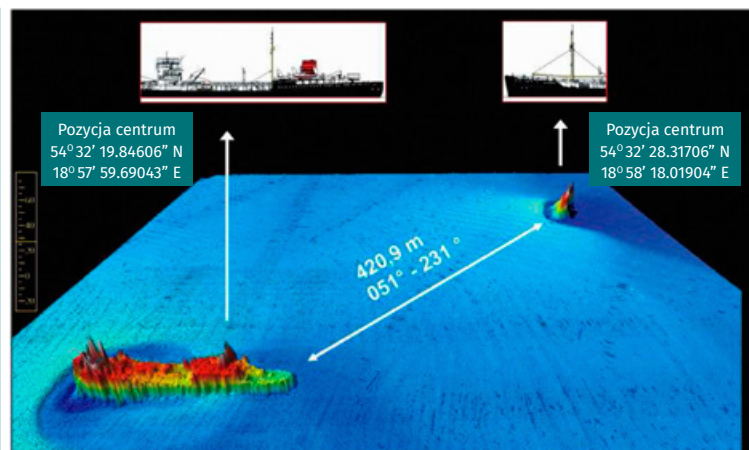
WRAKI • BAŁTYK POŁUDNIOWY • ZATOKA GDAŃSKA



Rysunek 1. Położenie wraku statku Franken na Zatoce Gdańskiej (źródło: BHMW Nawigacyjna Mapa Wraków ESC_OP-W001 ak1ed4)

Badania sonarowe i batymetryczne wskazały na istnienie dwóch części wraku – potwierdzają to zeznania naocznych świadków zatonięcia statku, w których podano informację o przetłamaniu się statku kilkadziesiąt minut po ataku (około godziny 12:00). Część dziobowa zatonięła bardzo szybko. Część rufowa dryfowała płonąc jeszcze przez około 20 minut. Statek zatonął o 12:22 zabierając ze sobą zabitych marynarzy, paliwo znajdujące się w zbiornikach, amunicję i uzbrojenie. Główna część wraku zawierająca w sobie część rufową i śródokręcie (gdzie znajdowały się zbiorniki paliwa) wraz z dziobową nadbudówką o łącznej długości ok. 130 metrów jest oddalona o ok. 420 m od części dziobowej o długości około 50 metrów (Rysunek 2).

Rysunek 2. T/S FRANKEN – stan obecny – badania hydrograficzne (źródło: BHMW) „Badania hydrograficzne wraku Franken” – Artur Grządziel, www.dzh.mw.mil.pl/zasoby/archiwum/upload/badania.pdf



Położenie wraku jest bardzo korzystne dla grup nurkowych wykonujących głębokie nurkowania z wyjściem z portów Zatoki Gdańskiej (Gdynia, Gdańsk, Hel, Jastarnia). Równocześnie jego lokalizacja w samym centrum Zatoki Gdańskiej jest niezmiernie niekorzystna pod względem zagrożeń ekologicznych. Potencjalny wyciek paliwa z wraku, może zagrozić istnieniu obszarów chronionych i bardzo poważnie naruszyć ekosystem całej Zatoki Gdańskiej oraz zagrozić czystości wszystkich plaż – od Piasków na Mierzei Wiślanej, od Piasków na Mierzei Wiślanej, przez Władysławowo, aż po Hel. Bardzo poważnym skażeniem zagrożone są rezerваты, obszary chronione i obszary Natura 2000 (Rysunek 3). Zalanie plaż paliwem z wraku ujemnie odbije się także na turystyce całego rejonu. Wyłączenie z eksploatacji i konieczność oczyszczania plaż o łącznej długości około 80 km w trakcie trwania sezonu turystycznego narazi przemysł turystyczny (hotele, bazy noclegowe, restauracje, kawiarnie, bary, ośrodki kultury i inne obiekty związane z obsługą turystów) na straty liczone w setkach milionów złotych (szacuje się, że utrata jednego sezonu to dla gospodarki województwa pomorskiego ok. 500 mln zł straty).

1.2 Dane techniczne tankowca Franken

Franken to jeden z pięciu prawie bliźniaczych okrętów zaopatrzeniowych niemieckiej Kriegsmarine. Budowany początkowo w stoczni Deutsche Werke A.G. w Kilonii, zwodowany został 8 czerwca 1939 r., jednakże po wybuchu wojny jego budowa stanęła w miejscu ze względu na ważniejsze zlecenia. W 1942 roku okręt został przekierowany celem ukończenia do stoczni Burmeister & Wain's Maskin & Skibsbyggeri – B&W w Kopenhadze. W trakcie budowy oznaczony jako „okręt zaopatrzeniowy C – Troßschiff C”. Okręt klasy Dithmarschen. Posiadał silniki diesla (MAN – podobnie jak Altmark). Do służby wcielony 17 marca 1943 r. – dwa lata przed zatopieniem.

Tabela 1. Dane techniczne statku Franken

Pojemność rejestrowa brutto	11 115 BRT (inne źródła: 10 850 BRT)
Wyporność	22 850 t
Długość	178,25 m
Szerokość	22,1 m
Zanurzenie	10,2 m
Załoga	94 do 208 osób
Napęd	4 silniki 9 cylindrowe silniki diesel MAN
Prędkość	21 węzłów
Moc	24 000 KM
Uzbrojenie	3 działa kal. 15 cm L/48 8 karabinów maszynowych 16 działek przeciwlotniczych kal. 2 cm 6 działek przeciwlotniczych kal. 3,7 cm Na pokładzie przewidziano miejsce na samolot, który mógł być przechowywany pod namiotem tuż za mostkiem, a do jego wodowania służył dźwig. Na pokład Frankena nigdy jednak nie dostarczono takiego samolotu.
Zabierane ładunki	11 810 ton paliw ciekłych i oleju 3 937 ton żywności i amunicji (kalibru od 20 mm do 280 mm) 2 214 ton wody pitnej

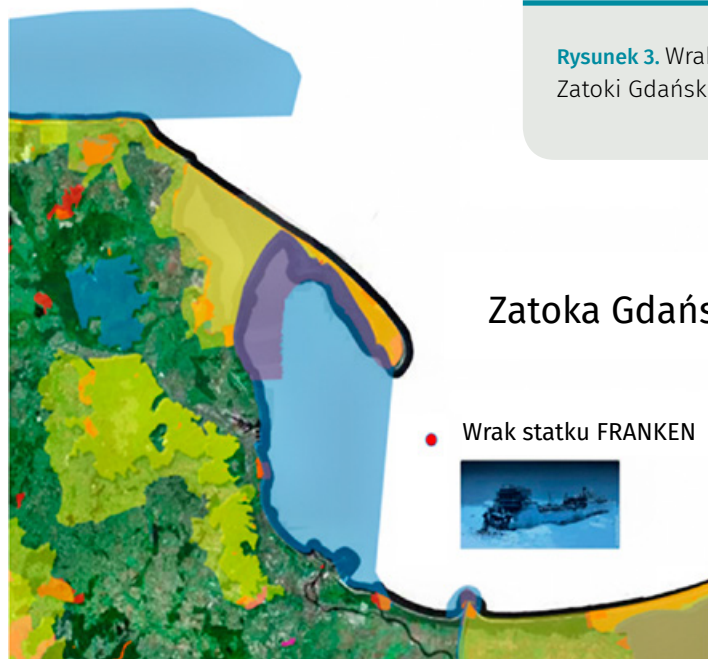
Źródło: „Die deutschen Kriegsschiffe“ (tom 7: ISBN 37882202678); I.Tomicca, P. Karaś „Franken – ostatnie dni okrętu Kriegsmarine na wodach Zatoki Gdańskiej” (2018).

Kapitanowie:

KK **Kempf Heinrich**: grudzień 1942-marzec 1943 (ur. 13.04.1896 w Brünn)

KL **Schwarze Friedrich**: marzec 1943 – wrzesień 1943

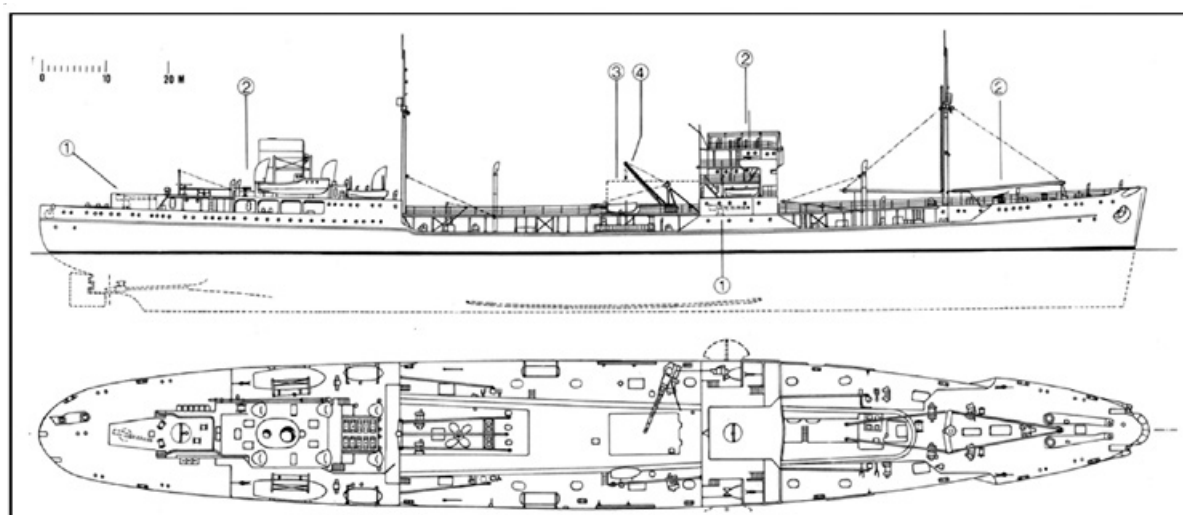
KK d.Res. **Krapohl Franz**: wrzesień 1943 – kwiecień 1945 (ur. 12.03.1878), zginął w dniu zatopienia Frankena



Rysunek 3. Wrak FRANKEN na mapie obszarów chronionych Zatoki Gdańskiej (źródło: GIOŚ)

Zatoka Gdańska

- Rezerваты
- Parki krajobrazowe
- Parki narodowe
- Obszary chronionego krajobrazu
- Zespoły przyrodniczo-krajobrazowe
- Natura 2000 – obszary ptasie
- Natura 2000 – obszary siedliskowe
- Stanowiska dokumentacyjne



Rysunek 4. Szkic okrętu klasy Dithmarschen (źródło: „Die deutschen Kriegsschiffe“, tom 7: ISBN 37882202678) •

Zdjęcie 1. Model Frankena na bazie widocznych na zdjęciu planów (źródło: http://www.arbeitskreis-historischer-schiffbau.de/e328/e443/e6952/e6954/media_photoHires) • **Zdjęcie 2.** T/S FRANKEN (archiwum)

1.3 Ostatnie dni okrętu, historia zatonięcia

W ostatniej fazie wojny Franken stacjonował na Zatoce Gdańskiej, głównie na redzie Gdyni lub Helu, jako część grupy bojowej Thiele. Ze względu na intensywne walki i częściowe zajęcie portów w Gdyni i Gdańsku przez Rosjan, uniemożliwiono zaopatrzenie pancerników Lutzow i Admiral Scheer oraz krążownika Prinz Eugen. Rola okrętu zaopatrzeniowego Franken wzrosła do tego stopnia, że po jego zatopieniu w dniu 8 kwietnia 1945 r. pancerniki i krążownik zostały odesłane z Zatoki Gdańskiej na Zachodni Bałtyk, gdzie brały udział w walkach o Kołobrzeg. W ostatniej fazie walk w rejonie Trójmiasta i Prus Wschodnich (do 8 kwietnia 1945 r.) Franken zaopatrywał dwie okrętowe grupy uderzeniowe, w skład których wchodziły m.in. krążownik Prinz Eugen, torpedowce: Panther, T1, T5, T12, T35, trałowce: M15, M18, M29, tankowiec Breitgrund, GÖ15 oraz łódź patrolowa V1706.

Zatopienie Frankena zbiegło się także z końcem operacji *Hannibal* w rejonie Zatoki Gdańskiej, będącej największą militarną ewakuacją ludności w historii morskiej, w trakcie której FRANKEN zaopatrywał szereg mniejszych jednostek. Wielka ewakuacja żołnierzy, członków służb wspierających działania wojska, marynarki wojennej oraz ludności cywilnej rozpoczęła się 21 stycznia 1945 r. na rozkaz dowódcy Kriegsmarine Karla Dönitza i trwała jeszcze do maja 1945 r., kiedy to z rejonu Kurlandii ewakuowano 180 tys. niemieckich żołnierzy. Działania Frankena w jego ostatnich dniach, a także sytuacja militarna na Zatoce Gdańskiej i w okolicach Helu jest dość dość szczegółowo zobrazowana w KTB (*Kriegstagebuch*), czyli dzienniku działań bojowych niszczyciela Z-43, który ostatecznie go w ostatnich dniach.



Rysunek 5. T/S FRANKEN – Widok na Długi Targ w Gdańsku, rzut pokładów (nizej sylwetka T/S Franken) wpisany w plac na Długim Targu w Gdańsku (B. Hac/Google Earth)

8 kwietnia 1945 r., Zatoka Gdańska – Reda Helu (wg Opisu z KTB Z-43)

8 kwietnia Franken cumuje na redzie Helu przy kotwiczowisku G.

Od rana trwa zmasowany atak kilkudziesięciu samolotów radzieckich Boston, Il-2 i Pe-2. Atak okazuje się zabójczy dla Frankena, którego w tym czasie ostania jedynie słabo uzbrojony niszczyciel Z-43. Około 11:38 okręt otrzymuje wiele trafień bomb i prawdopodobnie torped w część dziobową, które powodują poważne uszkodzenia i ogromny pożar części dziobowej oraz dziobowej nadbudówki. Pod pokładem dochodzi do licznych eksplozji amunicji.

Sam okręt zaczyna płonąć, bardzo szybko pochyla się na dziób i zaczyna tonąć. Ogień rozprzestrzenia się na rufę, a czarny dym pokrywa cały pokład. Kilka minut po bombardowaniu okręt przełamuje się przed nadbudówką dziobową (w części magazynowej amunicji i zbiorników z paliwem lekkim). Ginie cała obsada mostka i dziobowych dział. Bardzo szybko wydany zostaje rozkaz opuszczenia okrętu. Ci marynarze, którzy przeżyli, ewakuują się do łodzi ratunkowych na prawej burcie – stan lewej burty po ostrzale uniemożliwia spuszczenie znajdujących się na niej łodzi.

Większość uratowanej 200 osobowej załogi zostaje przejęta wraz z rannymi przez przybyłe S-Booty i kutry ZOP i przetransportowana na niszczyciel Z-43. Z-43 pozostaje na miejscu do chwili zatonięcia Frankena. Zintensyfikowany nalot radzieckich samolotów posyła płonący okręt na dno Bałtyku o 12:22, to jest około 40 minut po ataku bombowym. Na pokładzie Frankena i w otaczających go wodach śmierć znajduje 48 marynarzy.

Źródło: KTB (Kriegstagebuch) Z-43, tłumaczenie za: Iwona Tomica, Piotr Karaś, 2018 „Franken – ostatnie dni okrętu Kriegsmarine na wodach Zatoki Gdańskiej”.

Ostatnie chwile tankowca Franken na zdjęciach wykonanych przez rosyjskich lotników w momencie i tuż po ataku samolotów szturmowych Il.



Rysunek 6. Franken podczas bombardowania, 8 kwietnia 1945 r. – moment wybuchu magazynów amunicyjnych i zbiorników dziobowych (źródło: www.pwm.org.pl)



Rysunek 7. Franken podczas bombardowania, 8 kwietnia 1945 r. – w trakcie pogrążania się pod wodę – widoczne uszkodzenia części dziobowej tuż przed momentem przełamania kadłuba (źródło: www.pwm.org.pl)

Rysunek 8. T/S FRANKEN w trakcie ataku bombowego samolotów Ił – 08.04.1945 godz. 12.00 „Die Tragödie der Flüchtlingsschiffe: Gesunken in der Ostsee 1944/45“ (autor Heinz Schön) – „Lufttorpedos versenken TMS Franken“



Historię statku Franken oparto na materiałach historycznych zebranych i przytoczonych we wcześniejszych publikacjach: Iwona Tomica, Piotr Karaś „Franken – ostatnie dni okrętu Kriegsmarine na wodach Zatoki Gdańskiej” (2018) oraz Benedykt Hac i inni „Monitoring skażeń dna morskiego w rejonach zalegania wraków – wrak statku FRANKEN” (2016).

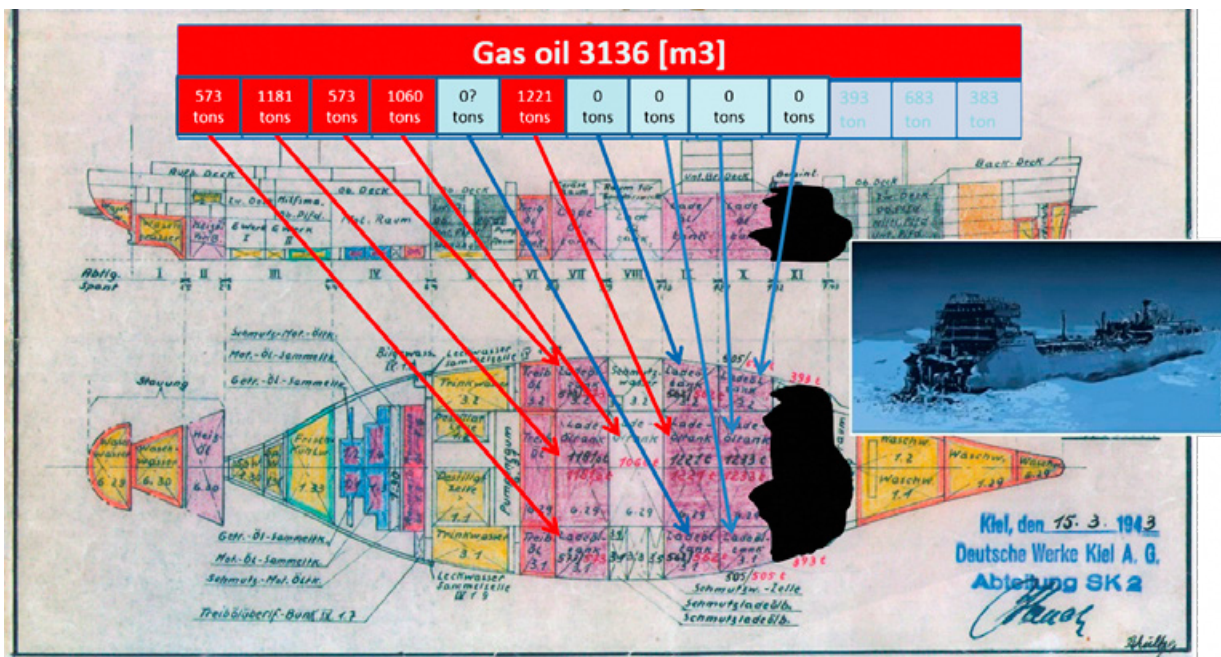
2 WRAK STATKU FRANKEN

W ramach programu badania negatywnego wpływu wraków statków motorowych na środowisko i ekosystemy południowego Bałtyku, realizowanego przez Instytutu Morski w Gdańsku, wrak statku T/S Franken został zidentyfikowany, jako wrak stanowiący potencjalnie bardzo poważne zagrożenie dla środowiska morskiego. Pozyskane archiwalne dokumenty – takie jak: plany załadunku (rozkład ładowni), kopie rozkazów dowództwa Kriegsmarine dot. zadań Frankena w kwietniu 1945 roku, zeznania świadków oraz archiwalne zdjęcia statku wykonane podczas ataku lotniczego, jak również współczesne zdjęcia płetwonurków często odwiedzających wrak – posłużyły do przeprowadzenia dochodzenia w sprawie obecnego statusu wraku i ewentualnych zagrożeń jakie może spowodować.

Na podstawie zgromadzonych dokumentów stwierdzono, że istnieje niemal całkowita pewność, że w momencie zatonięcia w zbiornikach Frankena było około 2 700 ton paliwa, nie licząc paliwa okrętowego jakie było mu potrzebne do pływania (ok. 300 ton). Na dziesięć dni przed zatopieniem, Franken pełnił służbę zaopatrzeniową dla grupy bojowej Thiele w rejonie Zatoki Gdańskiej. Przechwycone przez brytyjski wywiad niemieckie depesze radiowe podają, że okręt przyjął od tankowca Thalatta 2 066 m³ paliwa. W dniu 29 marca 1945 r. łączny ładunek paliwa na statku wynosił 3 136 m³, co w zależności od rodzaju paliwa oznacza ładunek o masie ok. 2 700 ton.

Na schematach załadunku (Rysunek 9) zaznaczono miejsce przetłumienia wraku. Pojemność 7 zbiorników, których stan wskazywał, że (potencjalnie) mogły ulec niewielkim lub nie uległy uszkodzeniom, wynosi aż 5 772 tony. To oznacza, że jest dużo miejsca w nienaruszonych zbiornikach, a po uwzględnieniu zasad rozkładu paliwa na tankowcach, ilość potencjalnego ładunku można wstępnie szacować w granicach ok. 3 000 ton. Taki szacunek został wykonany jeszcze przed rozpoczęciem ekspedycji w kwietniu 2018 roku i bez uwzględnienia wiedzy, jaka została uzyskana w trakcie wykonanego w tym czasie badania wraku.

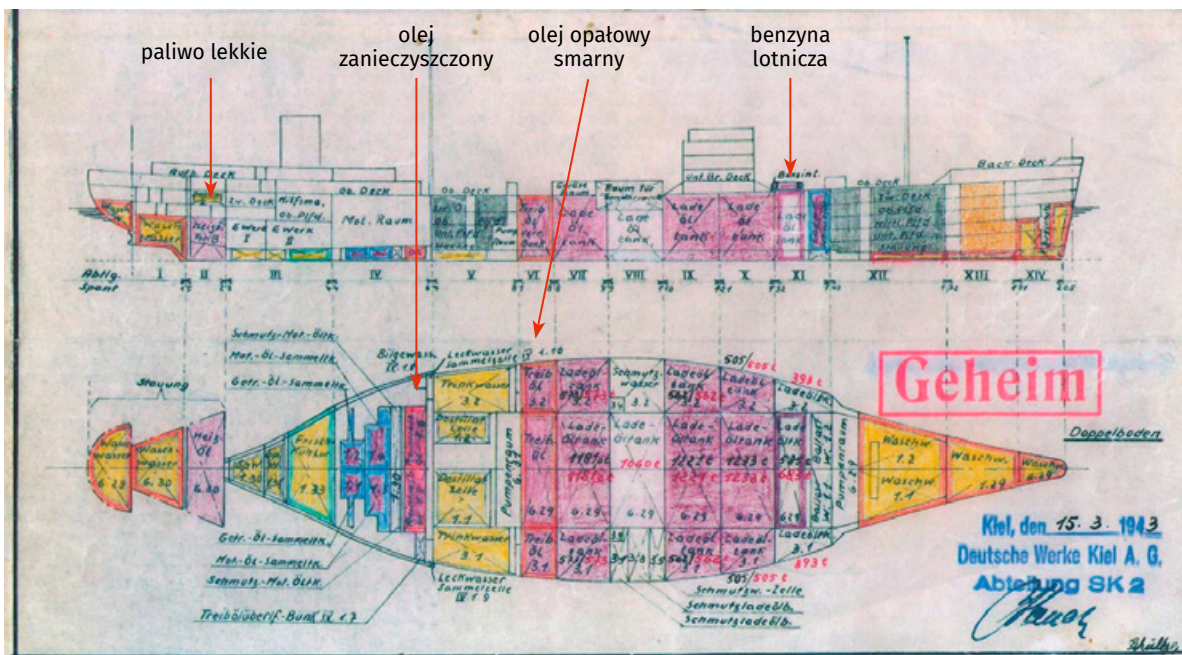
Obecny stan załadunku wraku statku Franken jest nieznany – w trakcie ekspedycji nie udało się jednoznacznie określić, w których zbiornikach jest paliwo – natomiast udało się określić, w których paliwo nie może się znajdować ze względu na ich rozszczelnienie.



Rysunek 9. T/S FRANKEN – w nieuszkodzonych zbiornikach może zmieścić się ok. 4 tys. ton paliwa. W oparciu o dane z meldunków ustalono, że maksymalnie mogło to być 3 tys. ton – prawdopodobnie jest znacznie mniej czyli około 2 tys. ton (źródło: plany archiwalne, opis własny)

Z zebranej w trakcie ekspedycji dokumentacji (zdjęcia, filmy, pomiary) wynika, że w 5 zbiornikach, które wyglądają na szczelne, mogłyby zmieścić się 4 608 ton różnego rodzaju paliw. Wiemy, że w momencie zatonięcia, na statku było dużo zapasów – w tym paliwo w ilości 2,7 tys. ton (3 136 m³), nie licząc paliwa koniecznego do ruchu statku. Na zdjęciach wykonanych w trakcie i tuż po ataku widać wypływające paliwo lekkie, które wydostaje się z uszkodzonych zbiorników i układa na powierzchni wody. Nieznany jest rodzaj paliwa rozmieszczonego w różnych zbiornikach. Mogło to być paliwo lotnicze (na pokładzie przed nadbudówką – zbiorniki z tym paliwem już nie istnieją), oleje napędowe I lekkie (MDO), oleje napędowe II średnie (DMB), oleje napędowe III komponowane ciężkie (DMC), lub najcięższe oleje opałowe używane do opalania kotłów zasilających turbiny. Brak jest dokumentacji w oparciu, o którą można by taką ocenę przeprowadzić. Zgodnie z ogólnymi zasadami, w trakcie transportu każdy z tych rodzajów paliwa musi być przewożony w oddzielnych zbiornikach, co powoduje, że paliwo musiało być przewożone w wielu zbiornikach równocześnie. Prawie połowa objętości zbiorników (tj. 5 z 13) jest nadal zamknięta bez dostępu z zewnątrz, co oznacza, że w każdym z 5 szczelnych zbiorników możliwe jest zaleganie paliwa. Szczelne zbiorniki mają pojemność od 573 ton do 1 221 ton. Rozszczelnienie choćby jednego z tych zbiorników spowoduje skażenie wody i plaż Zatoki Gdańskiej. Jedynie zbiorniki zawierające paliwo ciężkie mogłyby spowodować lokalne skażenie dna.

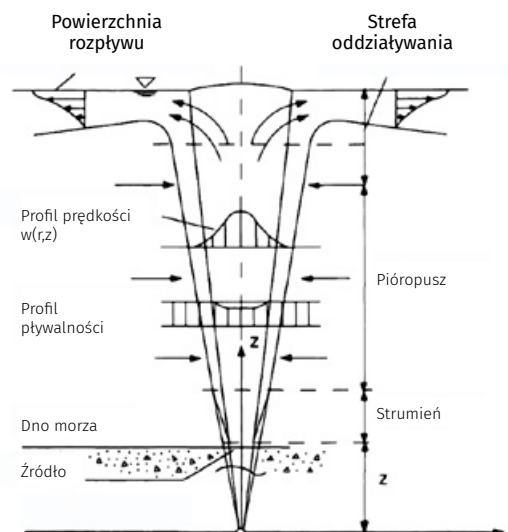
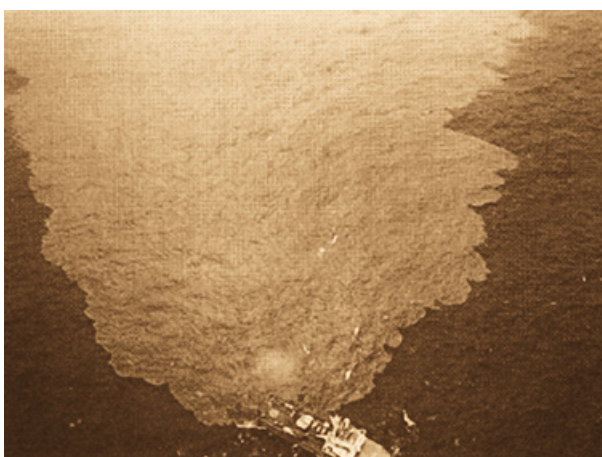
Nie znamy wszystkich możliwych scenariuszy takiego rozlewu (Rysunek 10), choć w oparciu o znane rozkłady kierunków przepływu prądów powierzchniowych (Rysunek 11) jesteśmy w stanie dokładnie wyodelować sposób i kierunki rozprzysy skażeń (Rysunek 12). Ponieważ wrak znajduje się w rejonie, który jest bardzo wrażliwy na skażenia, a układ prądów spowoduje skierowanie rozlewu w stronę pobliskich plaż leżących w odległości od 10 do 25 km od miejsca zalegania wraku, straty środowiskowe będą ogromne. Można oczekiwać bardzo intensywnego skażenia całego obszaru Zatoki Gdańskiej ze szczególnym uwzględnieniem brzegu (plaż morskich) od Piasków do Portu Hel. Analizując statystykę kierunków i prędkości prądów powierzchniowych w rejonie wraku stwierdzamy, że w skali roku przez około 40% czasu kierunki prądów układają się korzystnie, ale przez kolejne 40% czasu prądy powierzchniowe zaniósłoby paliwo na Mierzęję Wiślaną (w tym obszar chroniony na Ujściu Wisły) i rosyjską część Zatoki Gdańskiej. Przez około 20% czasu całe paliwo zostałoby „wpędzone” do wnętrza Zatoki Gdańskiej stanowiąc realne zagrożenie dla obszarów chronionych oraz plaż Trójmiasta i Helu.



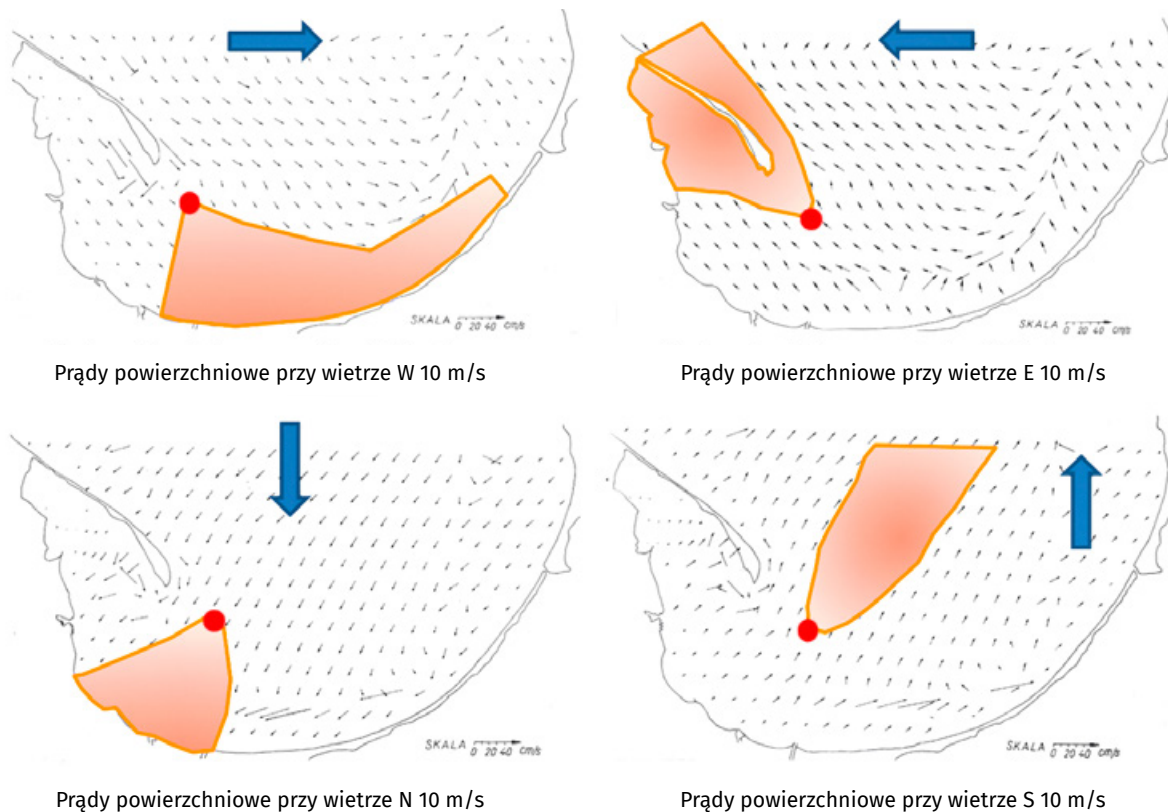
Rysunek 10. T/S FRANKEN – mógł posiadać w swoich zbiornikach około tysiąca ton innych produktów naftowych (źródło: plany archiwalne, opis własny)

W szacunkach ilości produktów ropopochodnych należy uwzględnić inne produkty (oleje, smary, oleje opałowe, wody żezowe), których mogło być na statku nawet około 1 tys. ton, a znajdowały się one w tej części wraku, która jest nieuszkodzona.

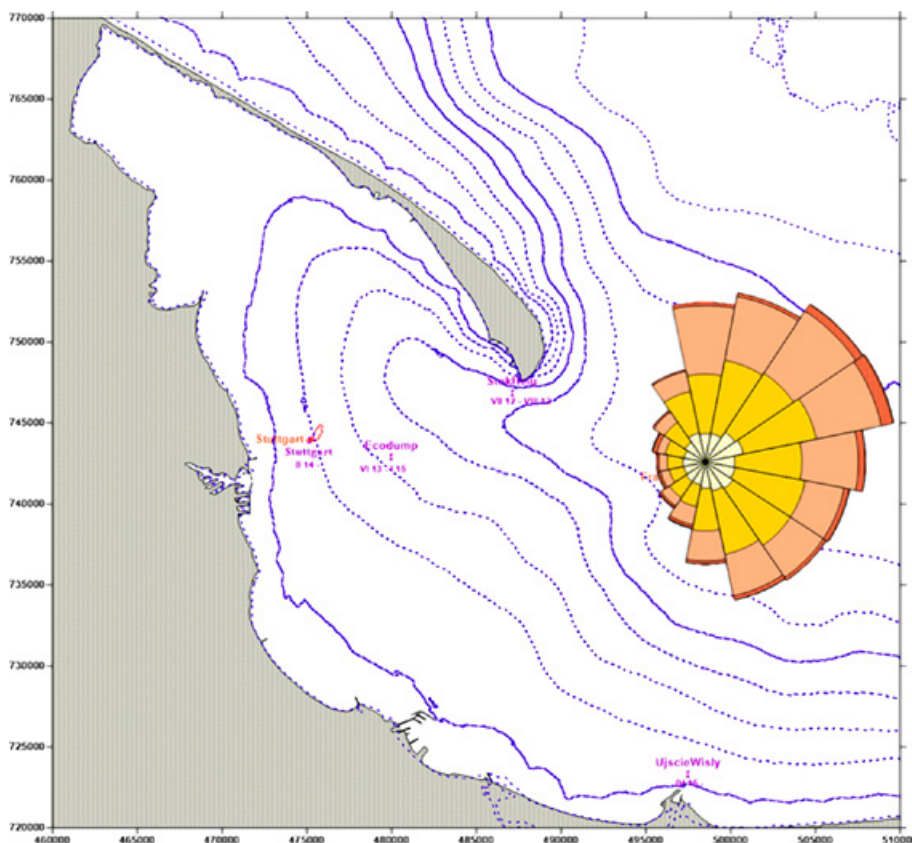
Ekspozycja stali, z której zbudowany jest wrak, na działanie wody słonej powoduje jej szybką degradację, co w katastroficzny sposób wpływa na obniżenie wytrzymałości konstrukcji. Rocznie – wskutek korozji – ubywa na Frankenie około 0,1 mm (wartość typowa dla tego obszaru Morza Bałtyckiego), po upływie 70 lat zalegania na dnie ubyło ok. 7 mm stali co oznacza, że wrak jest na granicy zawalenia się pod własnym ciężarem (zdjęcia pokazują poważne ubytki w konstrukcji statku). W nieodległym czasie spowoduje to **gwałtowne zawalenie się wraku, co z kolei spowoduje niekontrolowane uwolnienie paliw, oleju i innych substancji skażających środowisko.**



Rysunek 11. Schemat rozpyły paliwa wypływającego z wraku



Rysunek 12. Rozkład kierunku prądów powierzchniowych w miejscu zalegania wraku Franken powodowanych przez wiatry z różnych kierunków wraz z ilustracją kierunku transportu oleju wyptywającego z wraku (źródło: GIOŚ)



Rysunek 13. Rozkład kierunku prądów powierzchniowych w miejscu zalegania wraku Franken (dane z modelu – opracowanie własne)

3 WYNIKI POMIARÓW AKUSTYCZNYCH

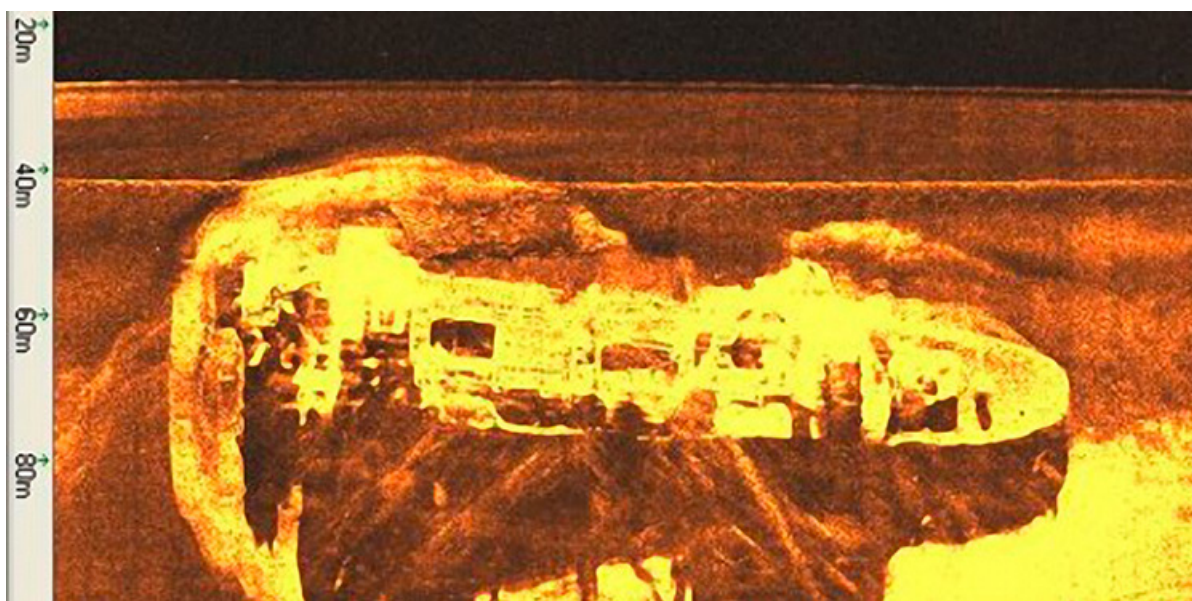
3.1 Sonarowy obraz dna w miejscu zalegania wraku

Zgodnie z wieloletnim doświadczeniem pracowników Instytutu Morskiego (Gajewski i in. 2002) uznano, że penetrację dna morskiego, prowadzącą do wykrycia obiektów na dnie, racjonalnie jest rozpocząć od profilowania sonarowego. Na podstawie analizy sygnału odbitego od dna można uzyskać obraz rzeźby dna morskiego w badanym rejonie. Natomiast odbicia od wystających nad dno obiektów oraz informacje o rodzaju i upakowaniu osadów powierzchniowych, dostarczają podstawowej wiedzy o wielkości i strukturze badanego obiektu, niezbędnej do wstępnego rozpoznania, a także informacji koniecznych do zaplanowania dalszych działań pomiarowych i badawczych. Pomiar dostarczą także dodatkowej wiedzy o wielkości, kształcie i stanie innych elementów lub obiektów leżących w okolicy badanego obiektu głównego.

W przypadku wraku statku Franken użyto sonaru bocznego holowanego EdgeTech 4125. Rejestracja powrotnych sygnałów sonarowych z 4 kanałów (częstotliwość 600 i 1600 kHz) odbywała się za pomocą cyfrowego systemu gromadzenia danych CODA DA 2000.

Najkorzystniej jest zebrać dane w taki sposób, aby obserwacje w pobliżu wraku pozwoliły na opracowanie sonarowej mapy dna, potocznie zwanej mozaiką. Różni się ona od surowego zapisu sonarowego tym, że po przeprowadzeniu geometrycznej korekcji sygnału i weryfikacji pliku nawigacyjnego, każdy z pikseli rastru mapy ma przyporządkowane ścisłe współrzędne. W międzynarodowych normach obejmujących prace hydrograficzne przyjmuje się, że błąd pozycjonowania centrum takiego piksela nie powinien przekraczać 6 metrów.

Obecnie stosowane jest podwodne pozycjonowanie ryby sonaru holowanego za pomocą systemu akustycznego pozycjonowania obiektów w wodzie z tzw. Bardzo Krótką Bazą Akustyczną – USBL (*Ultra Short Base Line*). W tej sytuacji ryba sonaru holowanego w sposób ciągły pozycjonowana jest z dokładnością mniejszą niż 0,5 metra, co znacząco polepsza jakość uzyskanych mozaik sonarowych. Jednakże nie zawsze jest to konieczne. W sytuacji, gdy istnieje możliwość zobrazowania obiektu głównego i innych obiektów znajdujących się w jego okolicy na jednym obrazie sonarowym uzyskanym z jednego przejścia – optymalizując nakłady sił i środków – celowe wydaje się pominięcie etapu tworzenia sonarowej mozaiki dna.

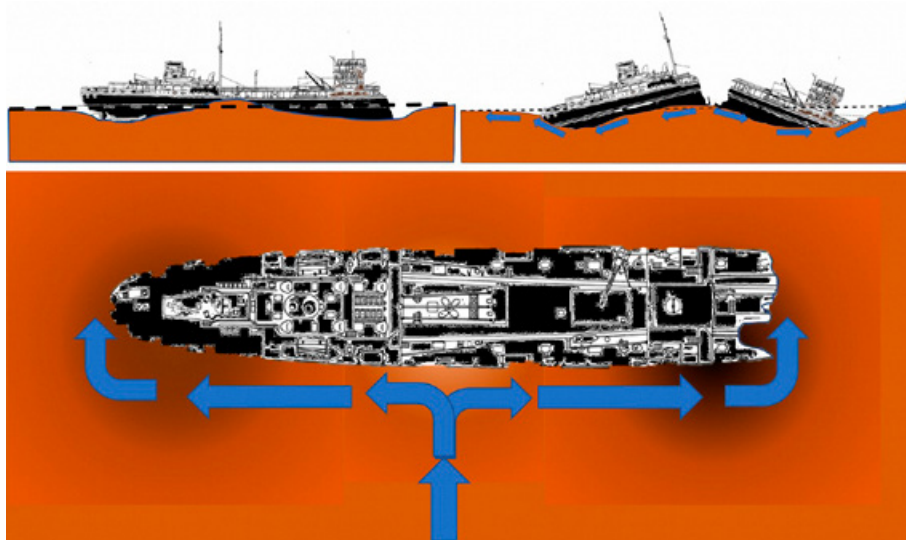


Rysunek 14. Obraz sonarowy okolicy dna wokół części rufowej wraku Franken (dane: UM w Gdyni)

W tym projekcie nie wykonywano pełnej mozaiki dna wokół wraku, ponieważ nie istniała taka potrzeba, a obszar ten był wcześniej wielokrotnie skanowany za pomocą sonaru. Wystarczające było jedno przejście wzdłuż burty, aby stwierdzić jak wygląda wrak w momencie prowadzenia działań ekspedycyjnych (Rysunek 14). Równocześnie sam wrak, jak i jego okolica, są dobrze znane z badań sondą wielowiązkową, dla których wykonane zostały pomiary potwierdzające pokrycie 100% powierzchni pomiarami w promieniu 500 metrów od wraku. Jest to wyjątkowa sytuacja, wiążąca się z projektem polegającym na rozpoznaniu dna na obszarze wielokrotnie badanym.

Wrak przełamany jest przed nadbudówką dziobową. Przełamanie powstało w wyniku uszkodzenia kadłuba bombami zrzuconymi przez rosyjski samolot Ił oraz na skutek wybuchów ładunku (paliwo lotnicze i amunicja), które znajdowały się w części dziobowej. Odłamana część dziobu leży 420 metrów w kierunku 051° (północny-wschód) (Rysunek 2). Część rufowa przedstawiona na echogramie (Rysunek 14 i Rysunek 16) stanowi jedną całość, nie widać zbyt wielu elementów rozrzuconych na dnie wokół wraku. Statek stoi na prawie równej stępce, superstruktury dziobowe, rufowe oraz pokład paliwowy są mocno zabudowane.

Wszystkie wraki ulegają degradacji, zwykle niszczone są zgodnie z jednym ze znanych scenariuszy, co wynika z typowych procesów zachodzących na dnie wokół danego wraku. Scenariusz niszczenia, który dotyczy sytuacji takiej, o jakiej mówimy w przypadku tego opracowania, nie znajduje zastosowania w odniesieniu do całego wraku (zwykle dotyczy to wraku, który nie jest połamany), gdyż Franken rozpadł się w wyniku wybuchów bomb i paliwa, które rozerwało kadłub uszkodzonego statku na dwie części (dziobową i rufową) już w momencie tonięcia. Części wraku oddaliły się od siebie o ok. 420 metrów, jednakże część rufowa (główna część wraku), leżąca w strefie bardzo silnych prądów przydennych niosących dużą ilość osadów, ulega destrukcji wg scenariusza pokazanego na rysunku poniżej (Rysunek 15). Oznacza to, że w niedługim czasie ta część wraku ulegnie całkowitej dezintegracji. Uwzględniając postępującą dezintegrację kadłuba spowodowaną korozją blach i innych elementów stalowych ekspozowanych na działanie stoney wody, należy liczyć się z rozpadem kadłuba w jego części środkowej oraz zawaleniem się dziobowej nadbudówki, wysokiej na 10-12 metrów (Rysunek 15).



Rysunek 15. Przykład niszczenia wraku przez silne prądy omywające kadłub (źródło: własne)

Przełamanie kadłuba w miejscu rozmieszczenia głównych zbiorników paliwowych wraku, spowoduje niekontrolowany wyciek ich zawartości. Podobny efekt nastąpi w przypadku zawalenia się superstruktury dziobowej ważącej ponad 1 tys. ton na pokład paliwowy. W przypadku jej przewrócenia się w stronę przeciwną – kadłub zostanie rozdarty, a zbiorniki zostaną rozszczelnione. Również taki scenariusz jest bardzo niebezpieczny dla środowiska Zatoki Gdańskiej.

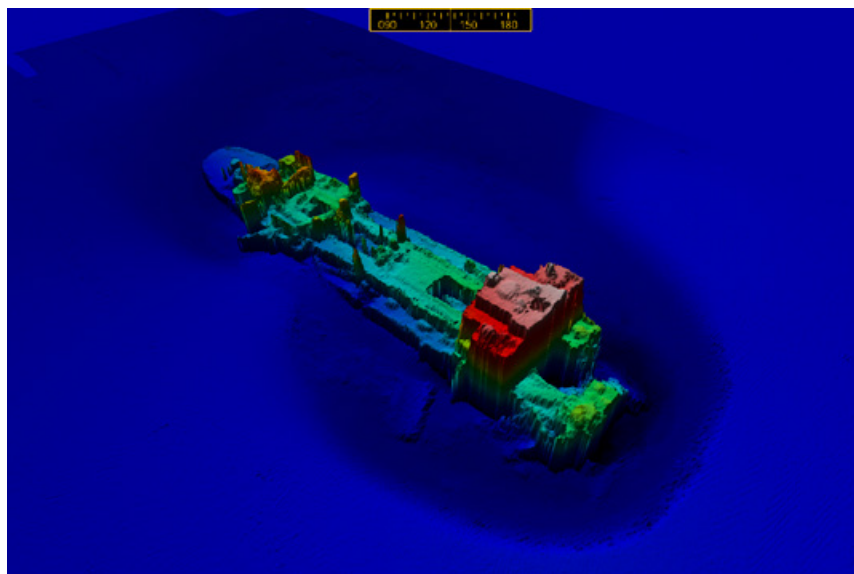
3.2 Analiza procesów niszczenia wraku w oparciu o wykonane sonogramy i echogramy z echosondy wielowiązkowej

Analiza sonogramów wraku pozwala na uzyskanie informacji, że aktualny stan wraku jest zły. Część rufowa jest mocno zniszczona i w chwili obecnej pogrąża się w dnie, co jest wynikiem zasypywania jej ruchomymi podwodnymi wydmami tworzonymi przez prądy morskie wokół obiektów na dnie w tym rejonie Zatoki Gdańskiej. Najczęstszym powodem niszczenia wraków jest ich długotrwałe zaleganie na dnie w rejonie występowania silnych morskich prądów przydennych powodujących bardzo silny ruch rumowiska, tj. przemieszczanie dużych ilości osadu (m.in. piasku i drobnego żwiru), powstawania głębokich podmyć w rejonie kadłuba, a następnie naturalnego niszczenia konstrukcji poprzez jej łamanie i zasypywanie. Proces naturalnego niszczenia wraków na dnie pokazują załączone rysunki (Rysunek 15 i Rysunek 16).

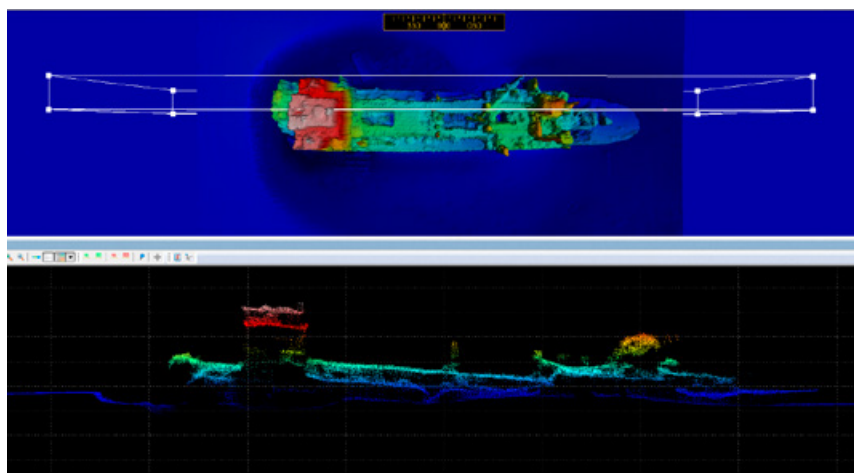
Przy tych masach (masa kadłuba wraku, która w przypadku Frankena może wynosić około 8 tys. ton) podmywanie części dziobowej powoduje powstanie ogromnych naprężeń prowadzących do złamania kadłuba. Dalsze podmywanie części rufowej powoduje powstanie naprężeń prowadzących do dalszego łamania kadłuba i całkowitego rozpadu wraku.

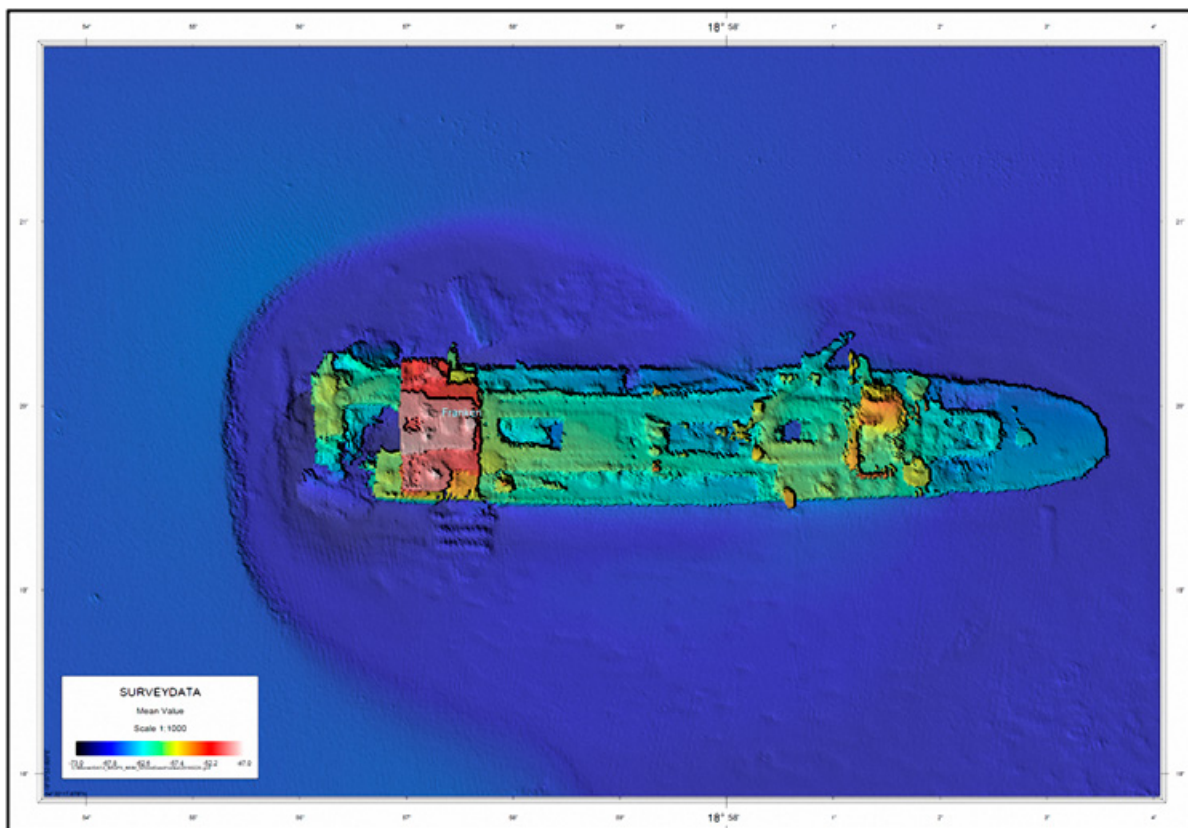
Wymiary wraku są następujące: długość dziobu około 40 metrów, długość rufy i części głównej ok. 130 metrów, szerokość około 22 metrów, wysokość 22 metrów. Część główna wraku wystaje ponad dno od 10 do 22 metrów. Wstępnie oceniono: głębokość wokół wraku na 67,4-60,0 metrów, w części dziobowej wraku minimalna nad wrakiem na 47,4 metra, maksymalna do 67,4 metra. Minimalna w części rufowej wraku na 55,3 metra, maksymalna do 60,8 metra. Dno wokół wraku piaszczyste. Wrak mocno zasypyany piaskiem.

Rysunek 16. Rozkład głębokości w rejonie wraku Franken – wizualizacja danych uzyskanych za pomocą MBES (źródło: własne)



Rysunek 17. Mapa batymetryczna dna – cięcie wzdłużne – wzdłuż prawej burty wraku – pokazuje wymycie gruntu w okolicy nadbudówki dziobowej wysoki walec ziemny w części środkowej, bliżej nadbudówki rufowej powodujące powstawanie dużych naprężeń w tym rejonie (źródło: własne)





Rysunek 18. Mapa batymetryczna dna w rejonie części głównej wraku

Z analizy rozkładów głębokości w rejonie wraku (Rysunek 15, Rysunek 16, Rysunek 17) wyraźnie wynika, że występują charakterystyczne dla tego obszaru Południowego Bałtyku wydmy podmorskie tworzące się w okolicy obiektów (przeszkód podwodnych) co sugeruje, że w tym obszarze występują silne prądy przydenne, charakterystyczne w strefie.

W przypadku wraku tankowca Franken realizowany jest pełnoskalowy scenariusz niszczenia wraków przez prądy morskie, opisany na rysunku (Rysunek 14). W tej sytuacji rozpad wraku jest nieunikniony i jest jedynie kwestią czasu.



fot. K. Białowicz

4 NARZĘDZIA UŻYTE DO WYKONANIA POMIARÓW NA WRAKU FRANKEN

4.1 Metodyka pomiarów

Wszystkie prace hydrograficzne (sondaże, pobór rdzeni i prób wody oraz gruntu) zostały wykonane w Państwowym Układzie Współrzędnych 1992. Wszystkie czujniki i przetworniki urządzeń pomiarowych na statku IMOR (Rysunek 19) były pozycjonowane w trybie czasu rzeczywistego za pomocą systemu satelitarnego GPS RTK.

Dokładność pozycji określona przez systemy pozycjonowania była lepsza niż 0,5 metra. System pozycyjny był powiązany z czujnikami pomiarowymi poprzez oprogramowanie zintegrowanego systemu nawigacyjnego QINSy v.8.1. Pozwala on na cyfrowy pomiar i rejestrację wszystkich parametrów systemu, a także wizualizację pozycji umożliwiającą żeglugę po zadanym profilu pomiarowym lub precyzyjne utrzymywanie się w zadanej pozycji, co ma istotny wpływ na badania wraku. W trakcie takich badań istotne jest stałe utrzymanie pozycji, co jest niezbędne dla bezpiecznego operowania zdalnie sterowanym pojazdem (ROV).

4.2 Statek badawczy i sprzęt pomiarowy

Jednostką pomiarową wykorzystaną w tym projekcie do badania wraku Franken był statek badawczy Instytutu Morskiego w Gdańsku – r/v IMOR. Jest to jednostka o długości 32,5 metra, szerokości 10,5 metra, zanurzeniu 2,5 metra i wyporności niespełna 370 ton.

W tym zadaniu jednostka była wyposażona w:

- Dwa wysokiej dokładności profesjonalne **systemy pozycjonowania satelitarnego RTK Trimble SPS 851 GPS** – systemy pozycyjne były powiązane z czujnikami pomiarowymi poprzez oprogramowanie zintegrowanego systemu nawigacyjnego QINSy. System wykorzystywany był również w procesie kalibracji systemów pomiarowych. System dostarcza informacji o współrzędnych geograficznych, które niezbędne są do określenia lokalizacji wykonywanych pomiarów. Równolegle wykorzystanie system **POS MV™ v5 WaveMaster** zapewnia wyznaczanie pozycji nawet w bardzo niesprzyjających warunkach pomiarowych.
- **Dwa (działające równolegle) systemy stabilizowania pomiarów**, które dostarczają bardzo dokładnych danych o bieżącej pozycji, kursie, przechyleniach i prędkości, tj. POS MV™ v5 WaveMaster firmy Applanix oraz HYDRINS (system nawigacji inercyjnej) firmy iXsea.
- **Echosonda wielowiązkowa SeaBat 7125** firmy Reson, która była podstawowym systemem pomiarowym wykorzystywanym dla tworzenia batymetrycznego obrazu dna w rejonie badanego wraku. Systemem gromadzącym i zapisującym dane z echosondy w czasie rzeczywistym było oprogramowanie QINSy v.8.1.
- **System pozycjonowania podwodnego Scout** produkcji Sonardyne pozwala na określanie pozycji śledzonego obiektu (np. ROV, nurkowie) względem dowolnego punktu statku pomiarowego. Oprócz wizualizacji śledzonego obiektu pozwala również określać jego pozycję cyfrowo i przesyłać ją do systemu QINSy w celu integracji z pozostałymi częściami systemu pomiarowego. System Scout używa akustycznej metody pozycjonowania USBL (Ultra-Short Baseline). Sercem systemu USBL jest transceiver z przetwornikami akustycznymi pozwalającymi na pomiar przesunięć fazowych odbieranych sygnałów akustycznych.
- **Kamera akustyczna ARIS 1800** umożliwia uzyskanie obrazu akustycznego analogicznego do obrazu z kamery optycznej. Uzyskany obraz akustyczny pokazuje kształt, rozmiary i ruch obiektu w warunkach braku widoczności w wodzie. Obraz jest prezentowany na ekranie komputera w czasie rzeczy-

wistym oraz jednocześnie rejestrowany w celu późniejszego odtwarzania na dowolnym komputerze. Wykorzystywany jest podczas inspekcji kadłubów okrętów oraz poszukiwania zatopionych przedmiotów w mętnej wodzie lub przy braku oświetlenia.

- **Czujnik ultradźwiękowy do pomiaru grubości blach** kadłuba wraku CYGNUS Dive, który jest noszonym na nadgarstku, prostym do obsługi, wodoszczelnym miernikiem ultradźwiękowym do pomiarów grubości płyt metalowych pod wodą – zwykle używany przez nurków. Posiada też możliwość wykonywania pomiarów za pomocą pojazdu ROV.
- **Lampy oświetleniowe HMI o mocy 2× 1200 W.** Specjalistyczne lampy HMI o mocy 1200 W przystosowane do pracy w wodzie na głębokości do 300 m. Lampy zostały wykorzystane do wykonania zdjęć i materiałów filmowych.
- **Pojazd podwodny ROV – Seaeye Cougar-XTi** wyposażony w zestaw oświetleniowy składający się z silnych reflektorów LED, 2 kamer wideo, ramienia z napędem hydraulicznym o dużym udźwigu oraz sonaru sektorowego do orientacji w toni. Pojazd stanowił podstawowe narzędzie do inspekcji kadłuba (wideofilmowanie kamerami GoPro, kamerami ROV, nosił też kamerę akustyczną ARIS). Został również wykorzystany do poboru próbek dna w okolicy wraku. Wspierał nurków podczas wykonywania dokumentacji fotograficznej i zapewniał im możliwość kontaktu z centrum kierowania projektem w trybie czasu rzeczywistego.
- **Różnego rodzaju próbniki** do poboru prób dna, paliw i wody.



Rysunek 19. Statek badawczy r/v IMOR wraz z urządzeniami wykorzystywanymi w trakcie pomiarów (omówionymi w tekście)

5 PRACE POMIAROWE I BADAWCZE WYKONANE NA WRAKU STATKU FRANKEN

W ekspedycji badawczej udział wzięły dwa zespoły:

- **zespół prowadzący działania techniczne** na statku r/v IMOR,
- **zespół nurków (fotografów)** wykonujących dokumentację fotograficzną i obserwacje bezpośrednie na wraku.

W celu zrealizowania założonych celów, zadania ekspedycji realizowane były według założonego systemu obowiązującego jako procedura w systemie zarządzania projektami organizowanymi przez IMG. W systemie tym wszelkie działania rozpoczynają się od odprawy (ang. *tool box*) dla wszystkich osób uczestniczących w projekcie. W trakcie odprawy kierujący projektem stawiał szczegółowe zdania. Omawiane były cele, sposoby ich osiągnięcia, użycie sprzętu i środki bezpieczeństwa. Jednym z ważnych elementów tych spotkań było precyzyjne określenie posiadanych zasobów ludzkich, organizacji nurkowania (kolejności i składu zespołów nurkujących), sprzętu koniecznego do wykonania zdjęć lub filmów, pomiarów, czy poboru próbek paliwa. Było to niezmiernie ważne, gdyż współpracowały ze sobą dwie grupy nurków wspierane przez pojazd podwodny Cougar XTi realizujące różne zadania w tym samym czasie.

Po zakończeniu nurkowań na pokładzie statku IMOR odbywały się ponowne spotkania, gdzie omawiano osiągnięte cele, przekazywane były uzyskane materiały filmowe i fotograficzne uzyskane w trakcie pracy. Stawiane były zadania na dzień następnny.

5.1 Działania nurkowe – statek LITORAL

W dniach od 23 kwietnia do 26 kwietnia 2018 roku załoga statku LITORAL oraz od 4 do 5 nurków (skład ilościowy grupy nurków ulegał zmianie) realizowała wskazane działania projektowe. Łącznie, nurkowie spędzili około 60 godzin w wodzie, w tym około 13 godzin na pokładzie wraku.

Grupa wykonywała następujące zadania:

1. Wykonanie dokumentacji fotograficznej dla potrzeb filmu.
2. Wykonanie dokumentacji fotograficznej dla potrzeb mozaiki dokumentacyjnej.
3. Wykonanie obserwacji (inspekcji) części zawierającej zbiorniki.
4. Postawienie łapek na paliwo.
5. Poszukiwania miejsc w których widoczne jest paliwo.
6. Wybór i przygotowanie miejsc do pomiaru grubości blach.
7. Pomiar grubości blach.
8. Zbieranie pułapek.

5.2 Działania pomiarowe – statek IMOR

W dniach od 23 kwietnia do 27 kwietnia 2018 roku załoga statku z grupą pomiarową i grupą medialną – **razem 14 do 16 osób przez 6 dni wykonały następujące zadania:**

1. Wystawienie lamp oświetleniowych na pozycji wraku.
2. Wykonanie dokumentacji fotograficznej za pomocą kamer ROV.
3. Wykonanie zdjęć technicznych do mozaiki.
4. Wykonanie pomiarów grubości blachy.
5. Wykonanie pomiarów kamerą akustyczną.
6. Przeprowadzenie inspekcji potrzebnej do oceny technicznego stanu wraku.
7. Pobór prób gruntu w okolicy wraku.

Łącznie pojazd ROV spędził w wodzie około 30 godzin, w tym 10 godzin dokonując inspekcji całego wraku i około 20 godzin wykonując inne zadania.

5.3 Opis wybranych elementów zadań zrealizowanych przez grupy nurkowe

Nurkowie stanowili bardzo istotny element działań rozpoznawczych wykonywanych na wraku. Ich atutami była autonomiczność, brak ograniczeń wynikających z połączenia kablem ze statkiem, oraz możliwość wejścia do przestrzeni z ograniczonym dostępem. Zwykle są to przestrzenie niedostępne dla pojazdów podwodnych wielkości porównywalnej do użytego w projekcie.

5.3.1 Wykonanie dokumentacji fotograficznej na potrzeby filmu i zdjęć dla PR (komunikacyjnych) oraz fotografii technicznych

Zdjęcia filmowe zostały wykonane na dwa sposoby:

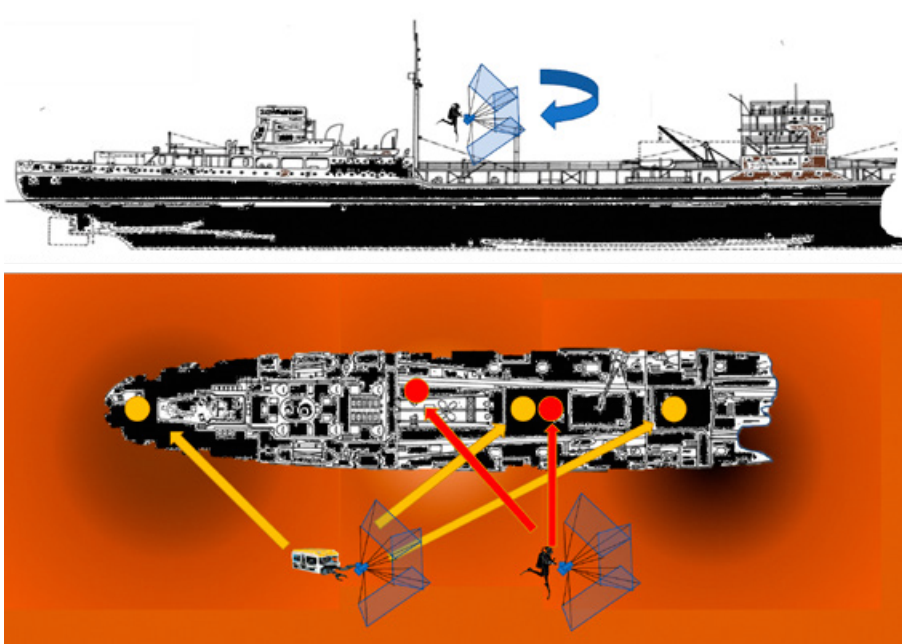
- **Do klasycznego filmu promującego projekt (reportaż z ekspedycji badawczej)** według ogólnych zasad filmowania – w trakcie takiego filmowania nurkowie skupili się na głównej bryle wraku i ciekawych ujęciach pokazujących ogrom obiektu, ciekawostki oraz nurków pracujących w toni.
- **Do zdjęć VR (3D)**, czyli zdjęć stanowiących wsad do obrazów wykonanych w Rzeczywistości Rozszerzonej (*Augmented Reality*). VR to technologia polegająca na nakładaniu wirtualnych obiektów 3D generowanych w czasie rzeczywistym na obraz rzeczywistego świata, przy pomocy urządzeń przetwarzających obraz (np. okulary, kamery, smartfony, tablety itp.). W Rzeczywistości Rozszerzonej możliwe jest poruszanie się w trzech wymiarach – wirtualne obiekty dostosowują się pod względem swojego wyglądu w analogiczny sposób, w jaki fizyczne obiekty robią to w prawdziwym świecie. Umożliwia to użytkownikowi przede wszystkim sprawdzenie, jak dany produkt komponuje się z otoczeniem, w którym docelowo miałby się znajdować. Rzeczywistość Rozszerzona pozwala również na tworzenie interaktywnych materiałów, książek, katalogów, ulotek, które ożywają przy oglądaniu ich za pomocą dedykowanych aplikacji. Technikę wykonywania zdjęć w tej technologii pokazuje rysunek poniżej (Rysunek 20).

Fotografie do celów komunikacyjnych i technicznych

Wykonano setki zdjęć ukazujących ogrom badanego obiektu, nurków na tle wraku oraz ciekawe miejsca na Frankenie. Wykonane zdjęcia pozwalają na szczegółowy ogląd miejsc, których udokumentowanie jest niezbędne dla oceny stanu wraku.

Rysunek 20.

Wykonanie zdjęć filmowych w systemie VR. Na rysunku pokazano miejsca, w których zostało dokonane filmowanie wraku



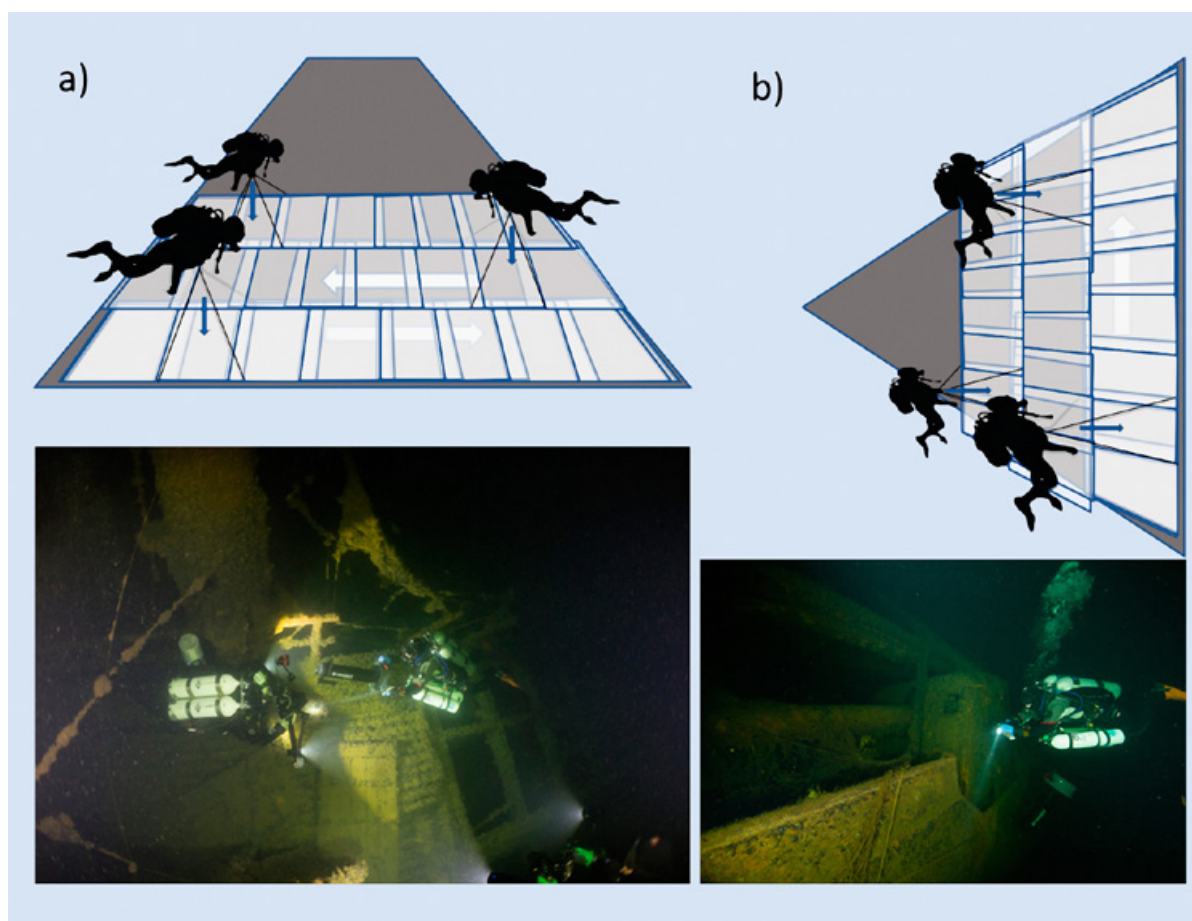
Mimo poszukiwań nie udało się znaleźć miejsc, w których można było sfilmować wycieki ropy. Sfilmowano natomiast pęknięcia i inne newralgiczne miejsca na statku wskazujące na „rychłą katastrofę”. Uchwycono rozległość uszkodzeń kadłuba i jego elementów oraz pokryw zbiorników.

5.3.2 Wykonanie dokumentacji fotograficznej dla potrzeb mozaiki dokumentacyjnej

W celu wykonania mozaiki fotograficznej służącej do tworzenia fotogrametrycznego obrazu 3D części pokładu i burt statku Franken, w miejscu gdzie znajdują się zbiorniki paliwowe wykonano kilkaset zdjęć. Obrazują one fragment powierzchni pokładu w taki sposób, aby kolejne zdjęcia i pasy – wzdłuż których było wykonywane fotografowanie – nachodziły na siebie z odpowiednim zakładem. Jest to niezbędne do tego, aby oprogramowanie przetwarzające materiał zdjęciowy miało wspólne punkty na kolejnych zdjęciach lub pasach. Technologię wykonywania takich zdjęć pokazuje rysunek poniżej (Rysunek 21).

Pomimo szkolenia i wykonanych uzgodnień uzyskany od nurków materiał nie nadaje się do programowego przetwarzania i stworzenia mozaiki w zautomatyzowany sposób, natomiast doskonale nadaje się jako dokumentacja stanu wraku wykorzystywana do analizy uszkodzeń.

Istnieje możliwość wykonania mozaikowania z klitek filmu wykonanego według określonej procedury (jak dla zdjęć mozaikowych). Z wykonanych zdjęć filmowych powstanie mozaika lewej burty i fragmentu pokładu wraku.

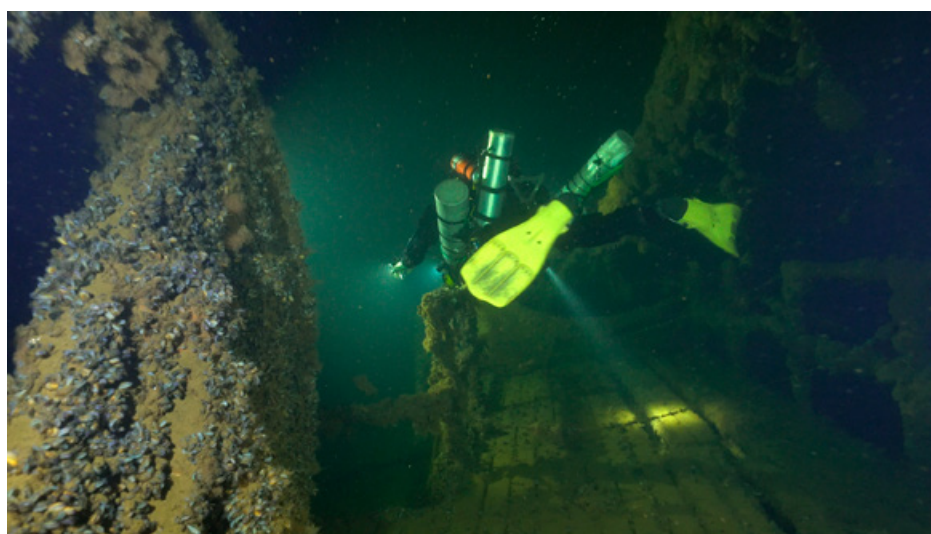


Rysunek 21. Schemat wykonywania zdjęć do mozaiki pokładu głównego. Należy przemieszczać się wzdłuż profili tak, aby kolejne pasy nachodziły na siebie (źródło: ekspedycja 2018)

5.3.3 Wykonanie obserwacji (inspekcji) części wraku zawierającej zbiorniki

Jednym z najważniejszych zadań ekspedycji było zdobycie próbek paliwa, które wykrapla się poprzez nieuszczelności lub „wyrdzewiałe” punktowe przebicia ścian zbiorników. W oparciu o zachowaną dokumentację techniczną statku (wraku) znamy rejon, gdzie są rozmieszczone zbiorniki transportowe z różnymi rodzajami paliwa. Paliwo wydobywające się ze zbiorników powinno występować właśnie w tym rejonie.

Na pokładzie głównym od wręgi 81 do nadbudówki, a na burtach od wręgi 81 do 119 (mniej więcej w połowie nadbudówki) znajdują się zbiorniki paliwa (rejon zaznaczony na beżowo na Rysunku 21). Charakterystyczny punkt na pokładzie głównym, poza którym znajdują się zbiorniki, to – idąc od nadbudówki rufowej – trzy (ułożone blisko siebie w jednej linii w poprzek kadłuba) włazy rewizyjne z pokrywami (owalne struktury wychodzące z pokładu przykryte pokrywą przykręconą śrubami), służące jako wejścia do zbiorników wody słodkiej – na Rysunku 22 zaznaczone czerwonym owalem. Małe czerwone owale wskazane zielonymi strzałkami to pokrywy włazów rewizyjnych zbiorników z paliwem. To są miejsca, które są najbardziej interesujące i które zostały bardzo dokładnie sprawdzone. Sprawdzone również powierzchnię pokładu poszukując przebić i wycieków. Pokłady miejscami pokryte są grubą warstwą osadów, piaskiem i mułem (Zdjęcie 5).

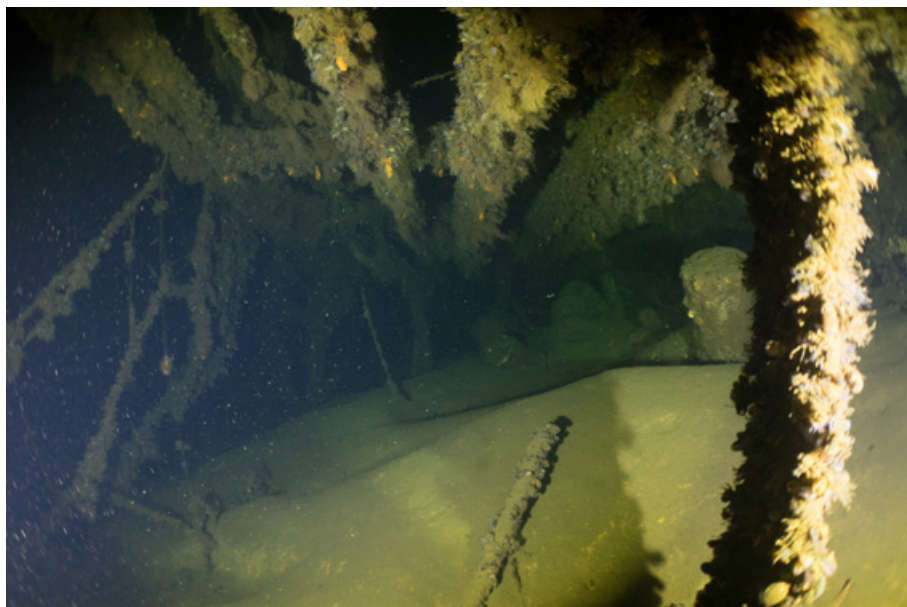


Zdjęcie 3. Pokład na lewej burcie wraku w okolicy śródkręcia (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Pocajto)

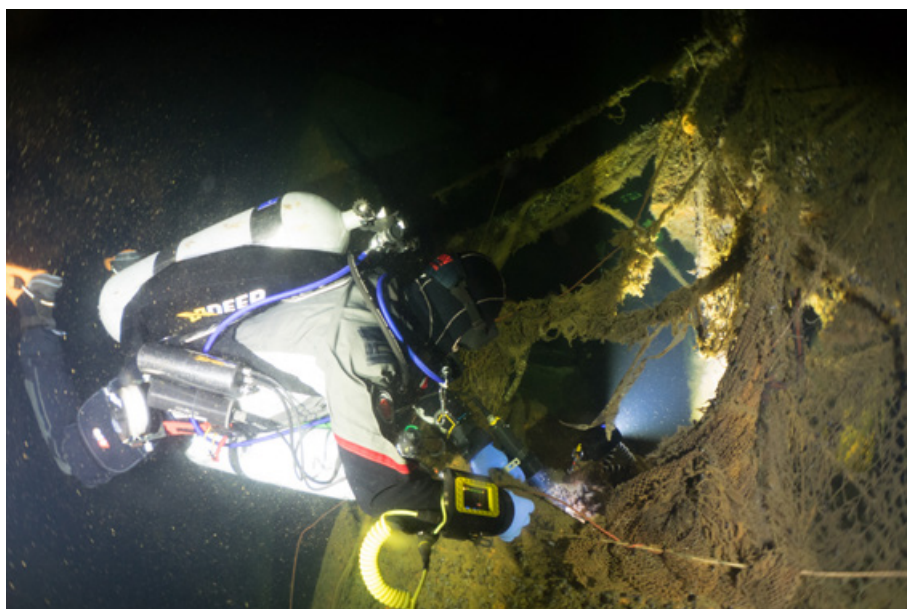


Zdjęcie 4. Pokład w okolicy nadbudówki rufowej na prawej burcie (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Pocajto)

Zdjęcie 5. Pokład pokryty grubą warstwą osadów (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)



Zdjęcie 6. Pozostałości sieci zaczepiona na urządzeniach pokładowych (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)



Zdjęcie 7. Liny i sieci okrywające osprzęt na pokładzie (źródło: ekspedycja 2018, fot. S. Paćko)

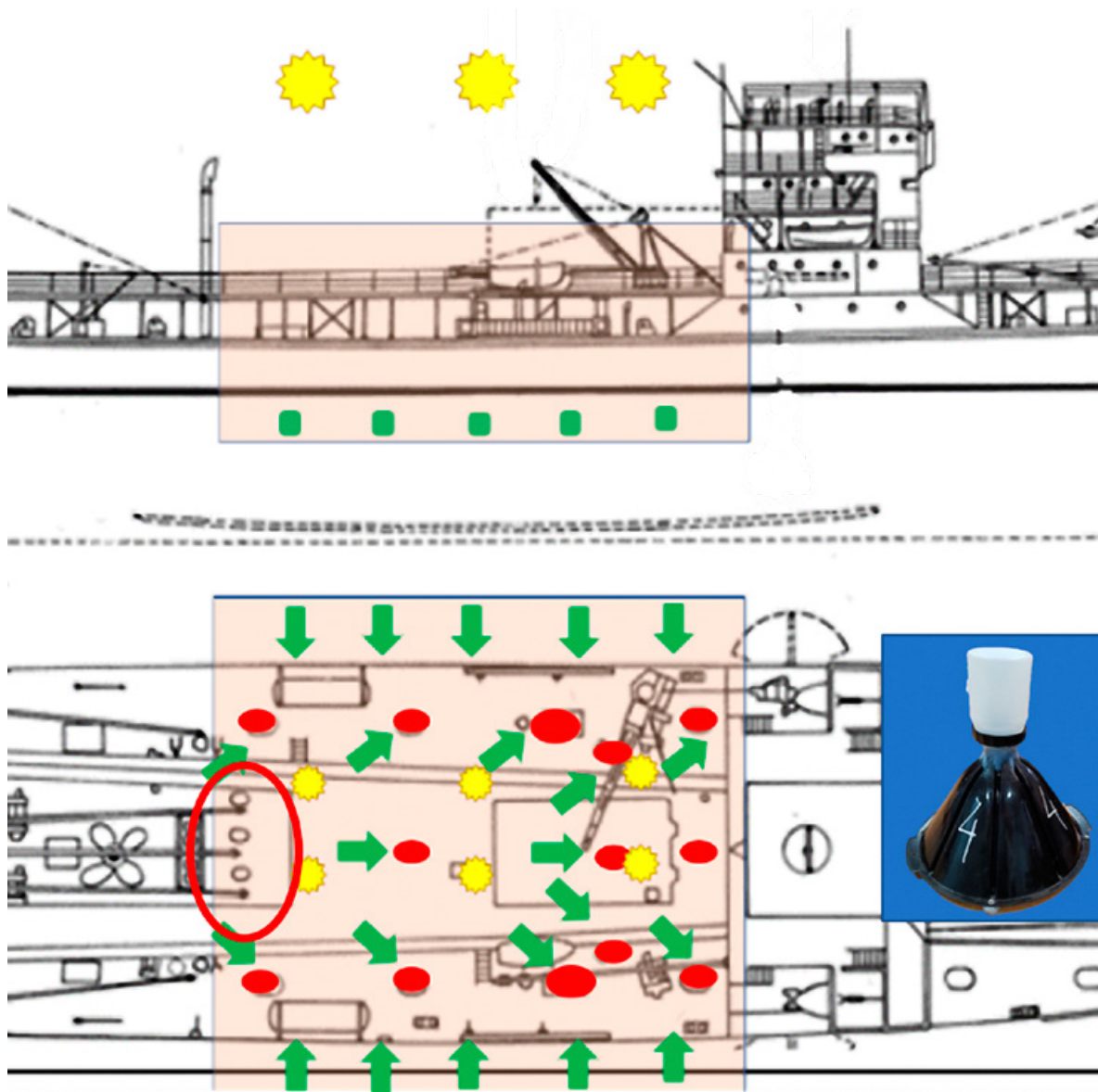


Zdjęcie 8. Osprzęt i śmieci na pokładzie głównym (źródło: ekspedycja 2018, fot. T. Trojanowicz)



Zdjęcie 9. Zerwane wyposażenie i śmieci tarasujące wejście do pomieszczeń przepompowni (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)





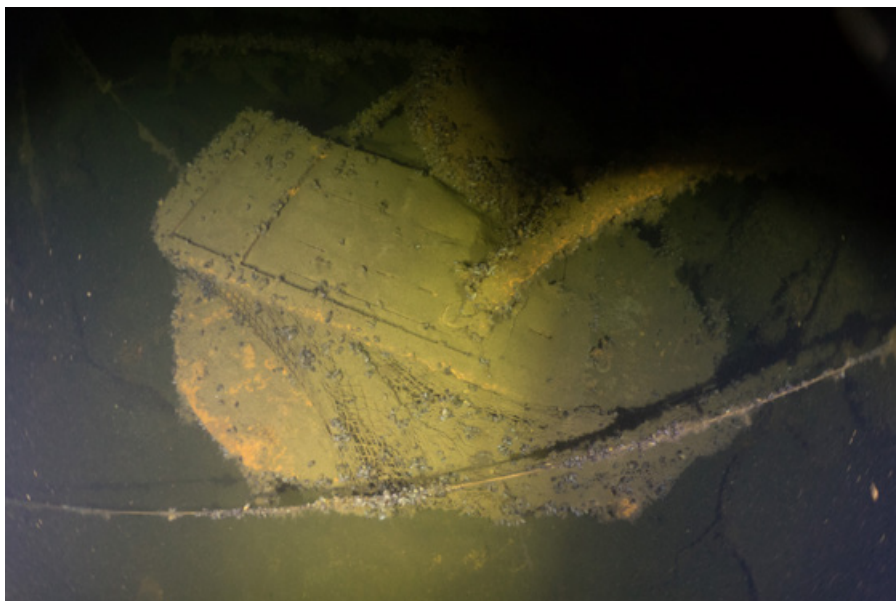
Rysunek 22. Rejon statku, gdzie znajdują się zbiorniki paliwa. Czerwone owale to luki wejściowe do zbiorników paliwa. Zielone strzałki pokazują miejsca, które należy skontrolować w celu stwierdzenia, czy nie występują wycieki. Pojemnik po prawej – łapka na paliwo wykraplające się ze zbiorników (źródło własne)

W wielu miejscach pokład przykryty jest pozostałościami sieci, linami (Zdjęcie 6) oraz śmieciami wszelkiego rodzaju powstałymi w trakcie i po zatonięciu statku.

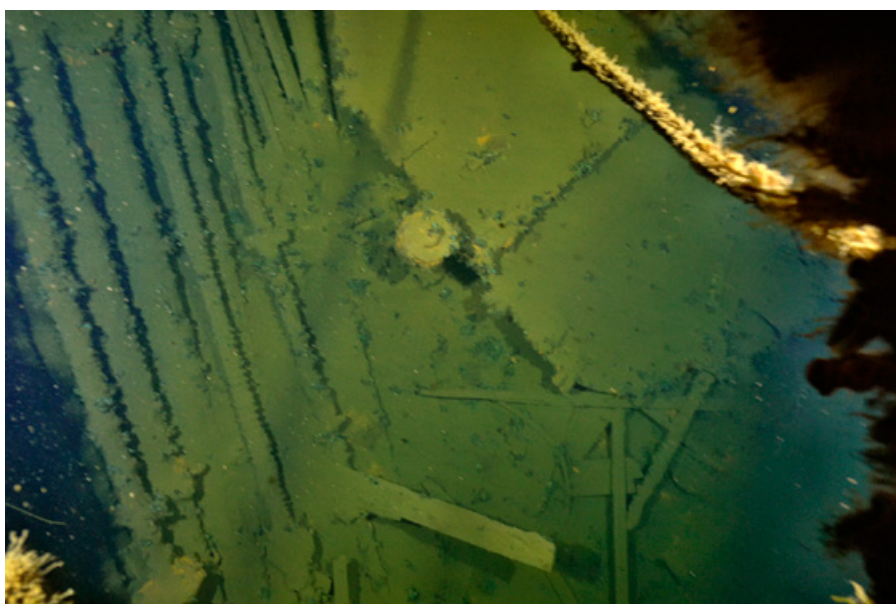
Sprawdzono również (częściowo przez nurków, a dokładnie za pomocą robota ROV) obie burty wraku w miejscach, gdzie rozmieszczone są zbiorniki. Nie znaleziono żadnych przebić i wycieków paliwa. W kilku miejscach burty były poważnie uszkodzone (z rozerwaniem stalowych powłok kadłuba) (Zdjęcia 17-19). Dotyczyło to jednak rejonu dziobowej nadbudówki czyli miejsca, gdzie zbiorniki zostały zniszczone już w trakcie złamania się kadłuba po ataku lotniczym.

W miejscach stwierdzonych wycieków planowano wystawić łapki na paliwo własnej konstrukcji. Taką łapkę wystawiono na wraku w okolicy jednego z wjazdów do ładowni – bez widocznych efektów.

Zdjęcie 10. Wtaz do zbiornika paliwa na lewej burcie (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)



Zdjęcie 11. Wtaz do zbiornika paliwa na prawej burcie (źródło: ekspedycja 2018, fot. S. Paćko)



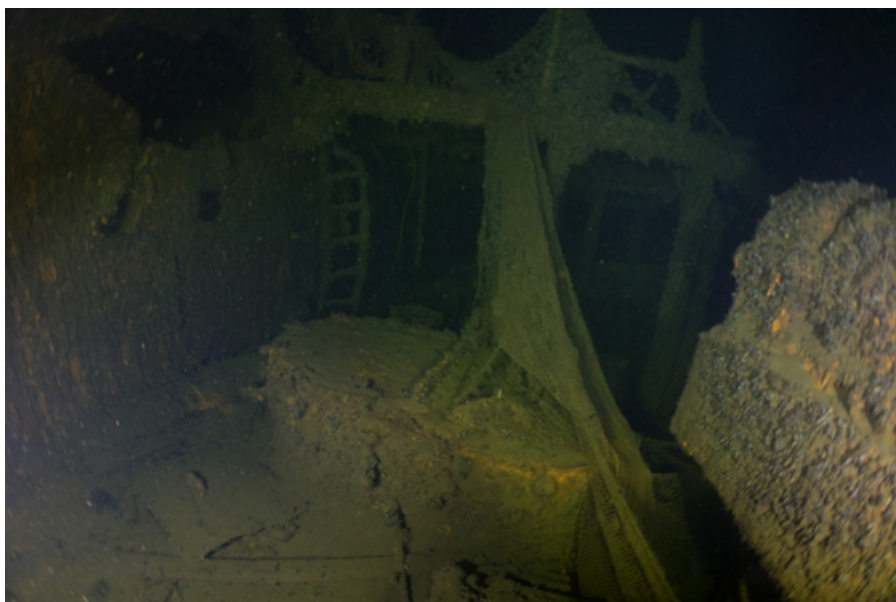
Mimo iż nurkowie dokładnie oglądali pokrywy luków (Zdjęcia 10-16), czyli miejsca, w których występuje największe prawdopodobieństwo wycieku paliwa, nie stwierdzono występowania takich wycieków, co oznacza że:

- pokrywy zbiorników nadal są szczelne,
- na pokładzie głównym statku ekspozycjonowanym na bezpośrednie działanie słonecznej wody nie doszło jeszcze do perforacji,
- zbiorniki poniżej pokładu wypełnione są paliwem lub inną substancją, która chroni stal kadłuba przed korozją, czego wynikiem jest niespodziewanie dobra kondycja pokładu.

Zdjęcie 12. Wtaz do zbiornika paliwa śródkręcie (źródło: ekspedycja 2018, fot. S. Paćko)



Zdjęcie 13. Wtaz do zbiornika paliwowego (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)



Zdjęcie 14. Wtaz do zbiornika paliwowego (źródło: ekspedycja 2018, fot. S. Paćko)



Zdjęcie 15. Właz do zbiornika paliwowego (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)



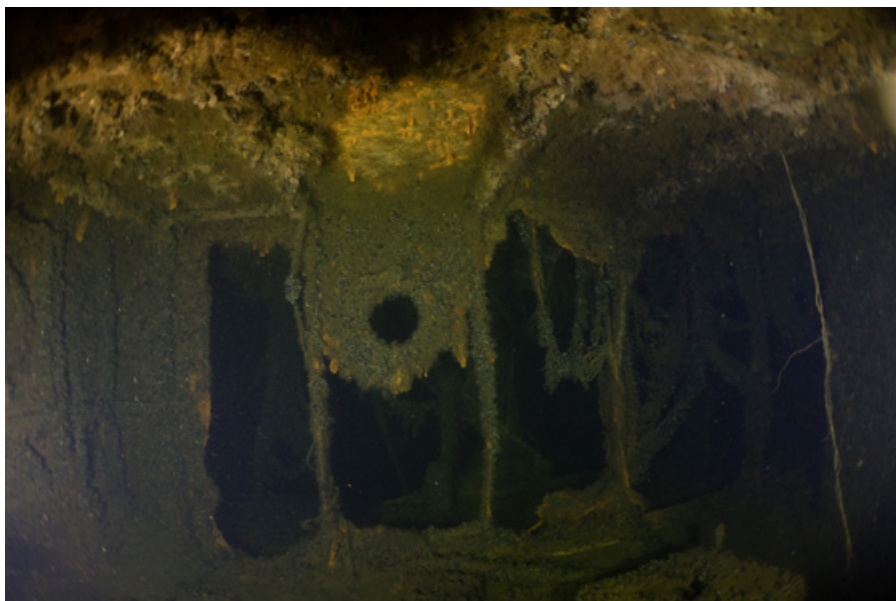
Zdjęcie 16. Właz na lewej burcie w stronę rufy (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)



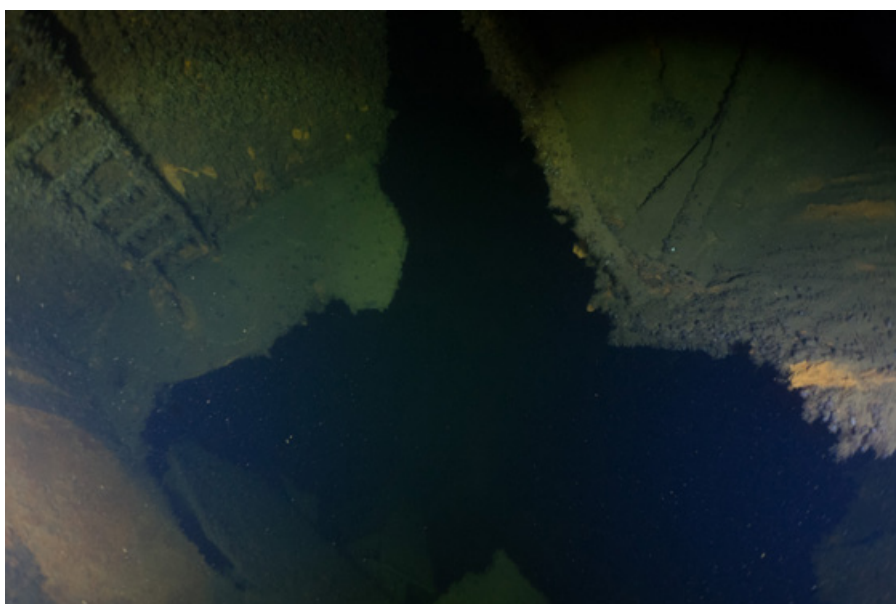
Zdjęcie 17. Rozerwana gródź między zbiornikami pod dziobową nadbudówką (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)



Zdjęcie 18. Rozerwana gródź między zbiornikami pod dziobową nadbudówką (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)



Zdjęcie 19. Rozerwany właz do zbiornika pod dziobową nadbudówką (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)



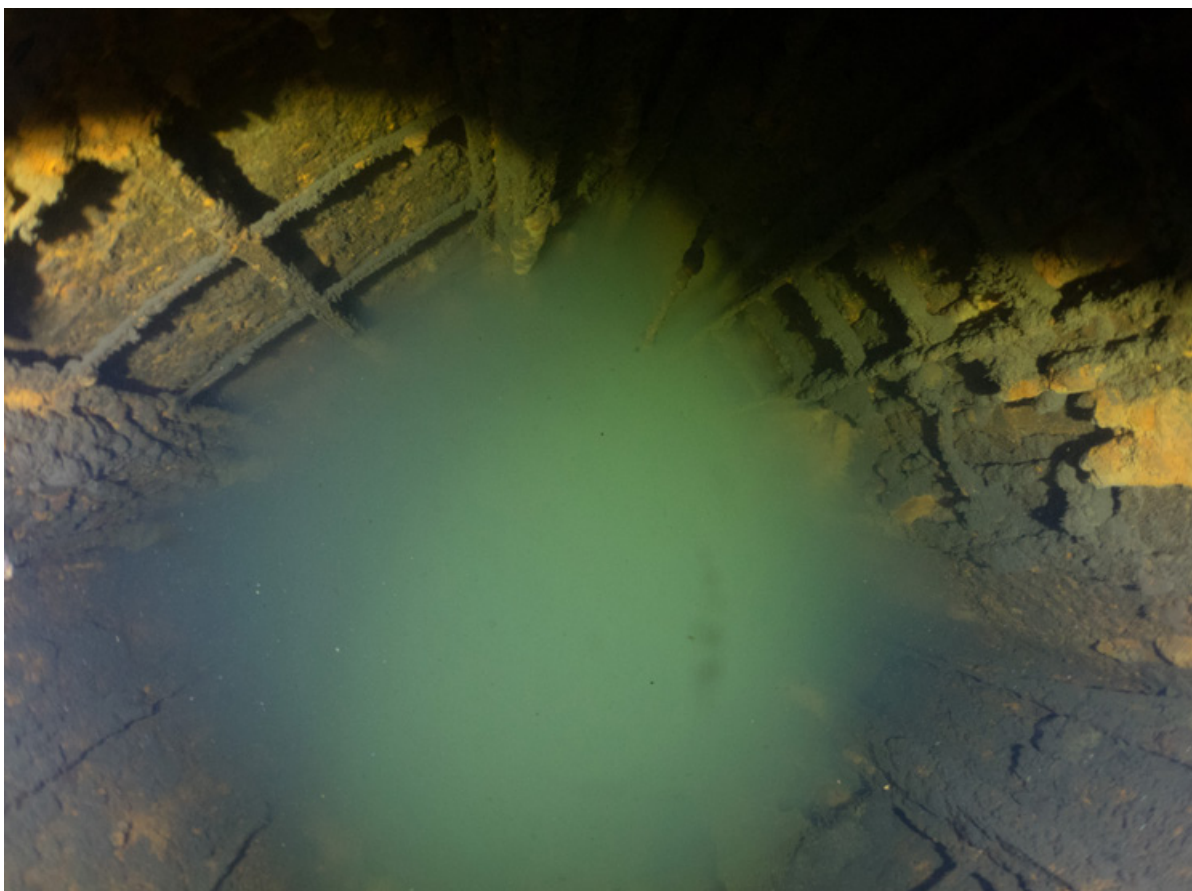
Zdjęcie 20. Pokrywa zbiornika paliwa na lewej burcie przy dziobowej nadbudówce – widoczny otwarty właz rewizyjny. Jeżeli w zbiorniku było paliwo lekkie – zbiornik jest już pusty, jeżeli paliwo ciężkie – konieczna jest inspekcja wewnątrz zbiornika w celu potwierdzenia lub wykluczenia obecności paliwa (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)



5.3.4 Poszukiwania miejsc w których widoczne jest paliwo – pobór próbek

Niektóre ze zbiorników zostały poważnie uszkodzone w trakcie walk oraz po zatonięciu (Zdjęcia 17-19). Na lewej burcie, pod dziobową nadbudówką, oderwany jest ogromny fragment burty. Zbiornik jest prawdopodobnie pusty, istnieje jednak duże prawdopodobieństwo, że w zakamarkach, pod pokładem, w naróżnikach wręg i pokładników znajduje się uwięzione paliwo. Pomimo prób nie udało się wejść pojazdem do zbiornika – zatem nie można wykluczyć ani potwierdzić, że na dnie zbiornika zalega paliwo ciężkie lub pod zamkniętą częścią górną zbiornika gromadzi się paliwo lekkie. Podobna sytuacja jest w pomieszczeniach nadbudówki, gdzie według opinii nurków można spotkać wnęki i nisze z uwięzionym paliwem.

Do poboru tego rodzaju próbek przygotowaliśmy małe zakręcane pojemniki. Głębokie wejście nurka do studni w celu pobrania próby uznano za zbyt ryzykowne, a dostarczona próba wody pobranej powyżej nie wykazała istotnych zmian poza podwyższoną zawartością siarkowodoru.



Zdjęcie 21. Wnętrze studni prowadzącej do centrali zaworowej rozdzielającej systemu rurociągów paliwa łączących poszczególne zbiorniki. Widoczny opalizujący płyn to najprawdopodobniej mieszanina wody i substancji ropopochodnych (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)

6 ZADANIA REALIZOWANE PRZEZ ZAŁOGĘ STATKU IMOR I GRUPĘ OBSŁUGUJĄCĄ POJAZDY PODWODNE

6.1 Wystawienie lamp oświetleniowych na pozycji wraku

Każdy z nurków oraz pojazdów podwodnych użytych w tej operacji posiadał indywidualne, osobiste oświetlenie, którego używał do wykonywania zdjęć oraz w trakcie filmowania. W celu doświetlenia planu zdjęciowego zastosowano dwie podwieszane lampy HMI, o mocy 1200 wat każda.

Przemieszczanie zestawu lamp wzdłuż osi głównej wraku oraz w lewo i prawo od osi zostało zapewnione przez statek IMOR. W trybie on-line lampy i efekty oświetlenia były obserwowane przez załogę (fotografa) na pokładzie statku – zapewnił to pojazd ROV wykonujący nurkowanie równoległe z nurkami. Pojazd znajdował się poza obszarem pracy nurków (na zewnątrz ich rejonu działania), aby nie wprowadzać dodatkowego niebezpieczeństwa zderzenia pod wodą.

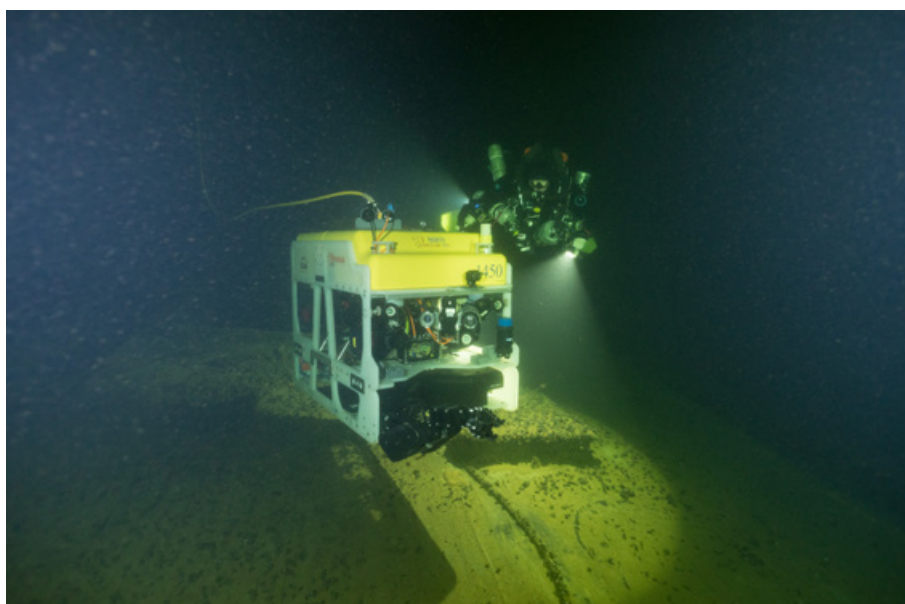
Niestety obydwie lampy uległy awarii po około 1,5 godziny pracy. Pominięto więc ten element wyposażenia, bazując na oświetleniu własnym nurków oraz zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego (ROV).

6.2 Wykonanie dokumentacji fotograficznej za pomocą kamer ROV

W celu wykonania dokumentacji fotograficznej i zdjęć do części medialnej projektu pojazd podwodny ROV został wyposażony w kamery rejestrujące obrazy za pomocą kamer Full HD.

Pojazd Seaeye Cougar XT wyposażony jest w standardowe kamery SD (techniczne). Kamery nadają się do kierowania pojazdem, ale nie są użyteczne w momencie wykonywania filmów o wysokiej jakości. Dlatego w tym celu na pojeździe została zainstalowana kamera GoPro Hero 4. Kamera była wykorzystywana również do wykonywania zdjęć mozaikowych.

Zdjęcie 22. Pojazd work class ROV Cougar XT (źródło: ekspedycja 2018, fot. S. Paćko)

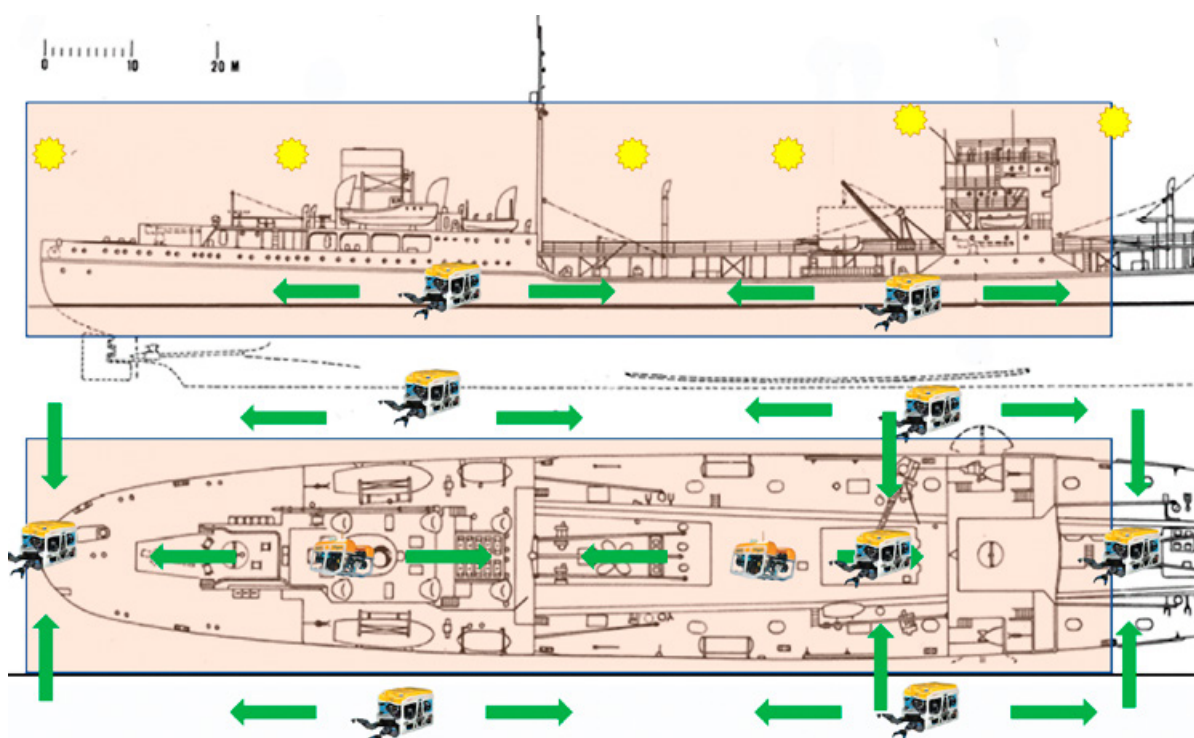


6.2.1 Wykonanie zdjęć technicznych do mozaiki

Prócz pracy nurków do udokumentowania stanu pokładów i burt wraku wykorzystany został zdalnie sterowany pojazd ROV Cougar XT z zamontowaną kamerą GoPro i kamerą akustyczną ARIS.

Głównymi obszarami wraku, które udokumentowano w ten sposób są: pokład główny oraz burty statku w rejonie zbiorników. Ze względu na ogromną ilość sieci, lin, żyłek wędkarskich oraz belek, części pokładu i innych elementów wyposażenia blokujących dostęp pojazdowi do tej części wraku nie udało się zrobić dokumentacji części środkowej pokładu pod pomostem biegnącym od nadbudówki dziobowej do rufowej.

Dodatkowym obszarem dokumentowania były rufy i rufowa nadbudówka oraz nadbudówka dziobowa. Zdjęcia z GoPro były wykonywane równoległe do pomiarów wykonywanych kamerą akustyczną. Ze względu na słabe warunki oświetleniowe jakość wielu zdjęć jest słaba, są one bardzo ciemne i nie zawierają zbyt wielu szczegółów. Jednak w oparciu o zdjęcia uzyskane przez ROV z GoPro wykonano mozaikę prawej i lewej burty wraku, które w obrębie części ładunkowej nie wykazują znaczących uszkodzeń (Zdjęcie 23 oraz Zdjęcie 24).



Rysunek 23. Schemat dokumentowania wraku Frankena z użyciem kamery akustycznej (źródło: własne)

Jednakże w oparciu o wykonaną mozaikę zidentyfikowano miejsce bardzo poważnego uszkodzenia kadłuba w rejonie pod dziobową nadbudówką. Nie ma pewności czy uszkodzenie w tym miejscu powstało w wyniku wybuchu podczas ataku i zatopienia statku, kiedy to statek przełamał się 15 metrów dalej w stronę dziobu, czy podczas zderzenia tonącego wraku z dnem, czy też pęknięcie powstało w wyniku ogromnych obciążeń jakim obecnie poddawany jest jego kadłub. Analizując charakter pęknięcia, które biegnie od dziobu w stronę rufy, można stwierdzić iż część pęknięcia od strony dziobu jest stara – co sugerują skorodowane i pokryte grubym nalotem poszarpane krawędzie pęknięcia, a część w stronę rufy jest relatywnie świeża – co sugerują długie, ostre, słabo skorodowane krawędzie rozerwanych blach. Pęknięcie ma około 10 metrów długości i jest szerokie na od 5 do 30 cm (Rysunek 24 i Zdjęcie 25).



Zdjęcie 23. Fragment burty w okolicy zbiornika paliwa na prawej burcie (źródło: ekspedycja 2018)

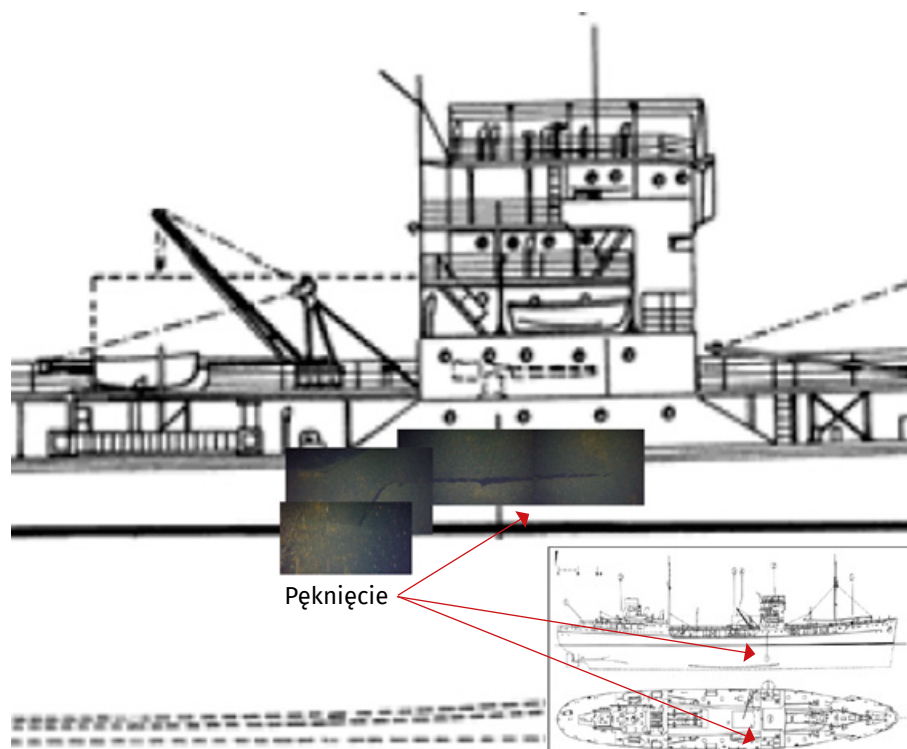


Zdjęcie 24. Fragment burty (lewa strona wraku) na wysokości zbiorników paliwowych – widoczny fragment gałęzi przyniesionej przez wody Wisły (źródło: ekspedycja 2018)

6.2.2 Wykonanie pomiarów grubości blachy

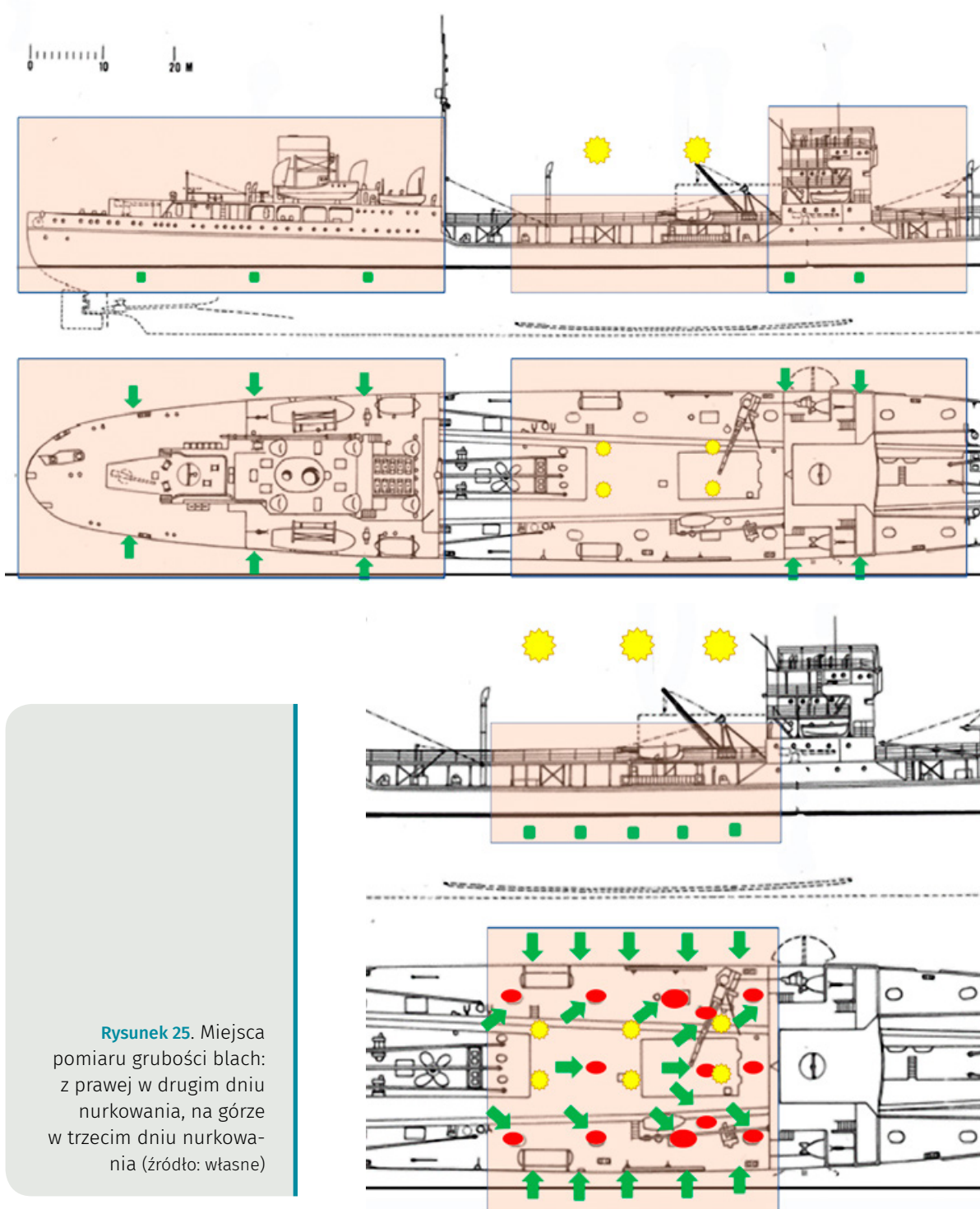
Pomiary grubości blach kadłuba były wykonywane przez nurków, którzy zostali przeszkoleni do użycia przyrządu pomiarowego. Bardzo gruba warstwa rdzy, nalotu, a w wielu miejscach piasku i mułu, uniemożliwiły uzyskanie jednoznacznych wyników podających grubość blach kadłuba i kiosków włazów rewizyjnych na pokładzie. Wyniki zapisane przez nurków w urzędzeniu miały tak znacząco różną wartość, iż uznano, że nie można ich brać pod uwagę przy ocenie stanu wraku. Zapisane wartości dla punktów oscylowały od 5 do 50 mm. Trudno przyjąć za wiarygodny zapis trzech kolejnych pomiarów dla tego samego punktu, które zawierają się w przedziale od 5 do 30 mm, a dla innego od 15 do 50 mm. Taki wynik czyni pomiar niewiarygodnym. W wyniku ustaleń z dostawcą urządzenia uznano, że pomiary nie zostały wykonane we właściwy sposób i muszą zostać powtórzone. Takie powtórne badanie grubości blach zostało zaplanowane na drugą połowę lipca 2018 roku, w czasie prowadzenia na wraku Frankena szkolenia nurkowego z elementami prac technicznych – w tym pomiarów grubości blach pod wodą.

Rysunek 24.
Pęknięcie kadłuba na prawej burcie, pod dziobową nadbudówką (źródło: ekspedycja 2018)



Zdjęcie 25. Mozaika prawej burty pod nadbudówką pokazująca długie na około 10 metrów i szerokie na od 5 do 30 cm pęknięcie kadłuba (źródło: ekspedycja 2018)

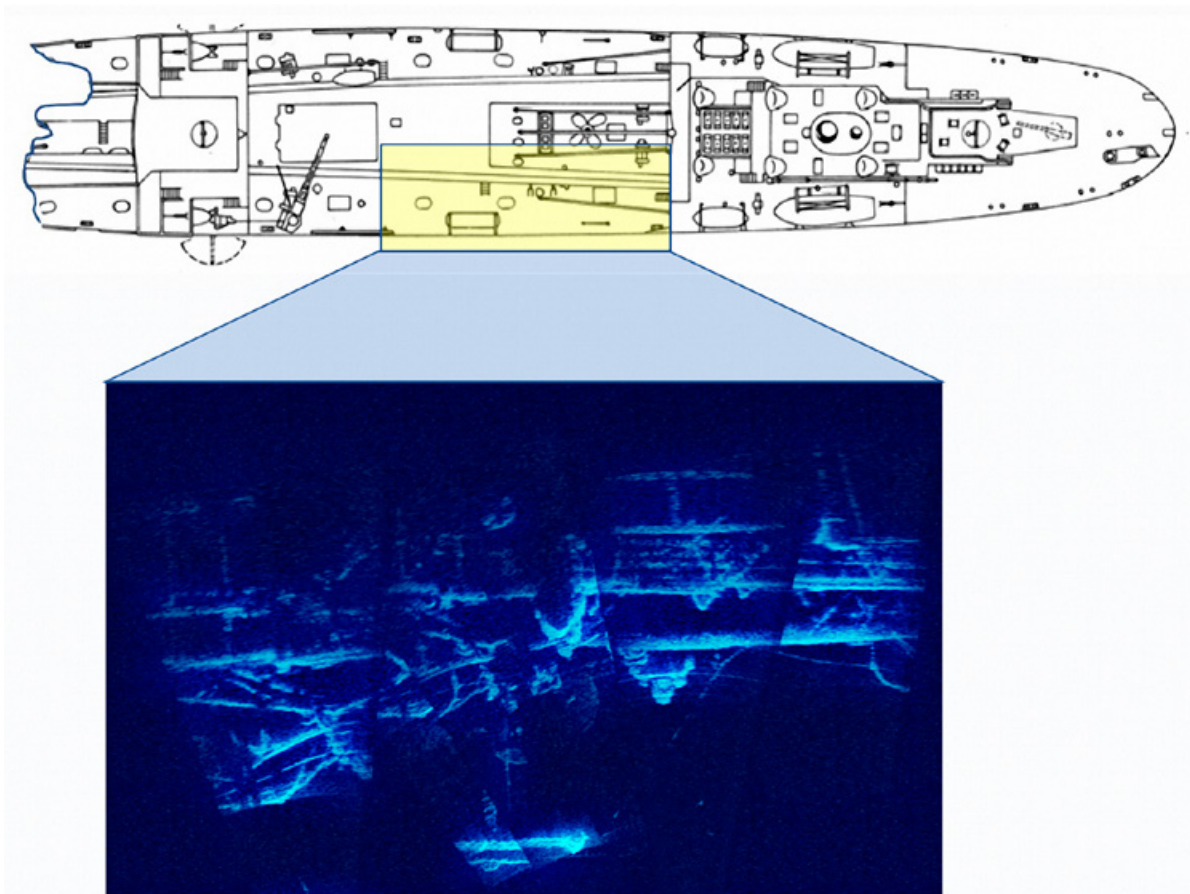




Rysunek 25. Miejsca pomiaru grubości blach: z prawej w drugim dniu nurkowania, na górze w trzecim dniu nurkowania (źródło: własne)

6.2.3 Wykonanie pomiarów kamerą akustyczną

Ważnym zadaniem dużego pojazdu podwodnego Cougar XT było wykonanie pełnej akustycznej dokumentacji wraku, co pozwoliło na inwentaryzację dużych uszkodzeń kadłuba. Wykonując równoczesne dokumentowanie zdjęciowe i filmowanie kolejnych elementów kadłuba, rozpoznany został aktualny rzeczywisty stan wraku. Zdjęcia akustyczne i fotograficzne zostały wykorzystane do przygotowania dokumentacji niezbędnej do bezpiecznego przeprowadzenia oczyszczania wraku. Rysunek 26 pokazuje około 30-metrowy odcinek pokładu wraz z burtą. Kamera akustyczna sięga w głąb pokładu na około 10-12 metrów, pokazując urządzenia i konstrukcje na pokładzie głównym.



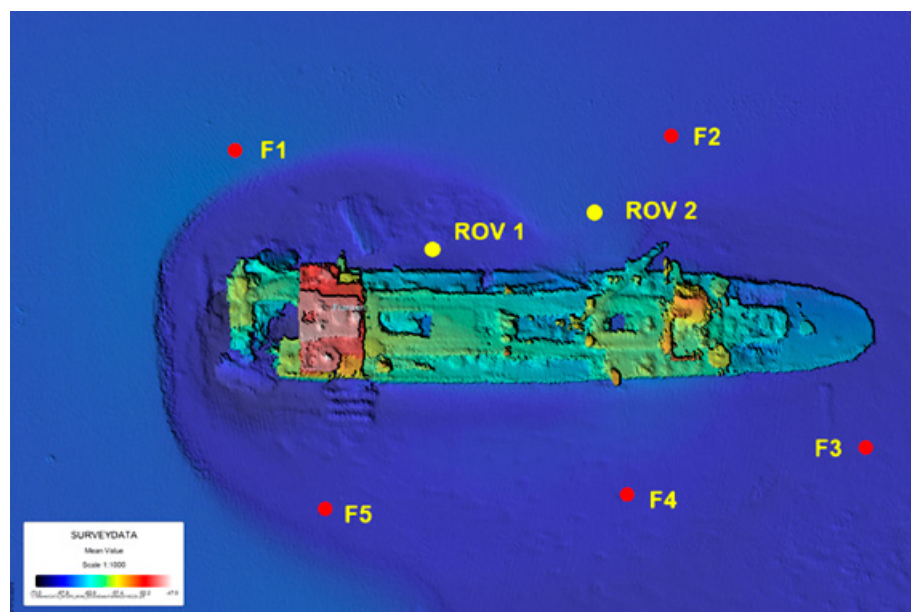
Rysunek 26. Mozaika obrazów z akustycznej kamery ARIS pokazująca pokład główny i lewą burtę wraku na odcinku około 30 metrów od rufowej nadbudówki w stronę nadbudówki dziobowej (źródło: ekspedycja 2018)

Choć interpretacja tych zdjęć jest trudna, pozwala na „złożenie” obrazu pokładu w obecnym stanie. Nie jest możliwe uzyskanie chmury punktów wykorzystywanych do tworzenia obrazów przestrzennych, pozostaje mozaikowanie obrazów w rzucie na płaszczyznę. Zubaża to nieco informację, jest jednak bardzo użyteczne do oceny ilości i rodzaju przeszkód, jakie mogą wystąpić na drodze pojazdu wykonującego prace oczyszczające. Zalecamy użycie tego urządzenia jako źródła informacji niemożliwej do uzyskania w inny sposób.

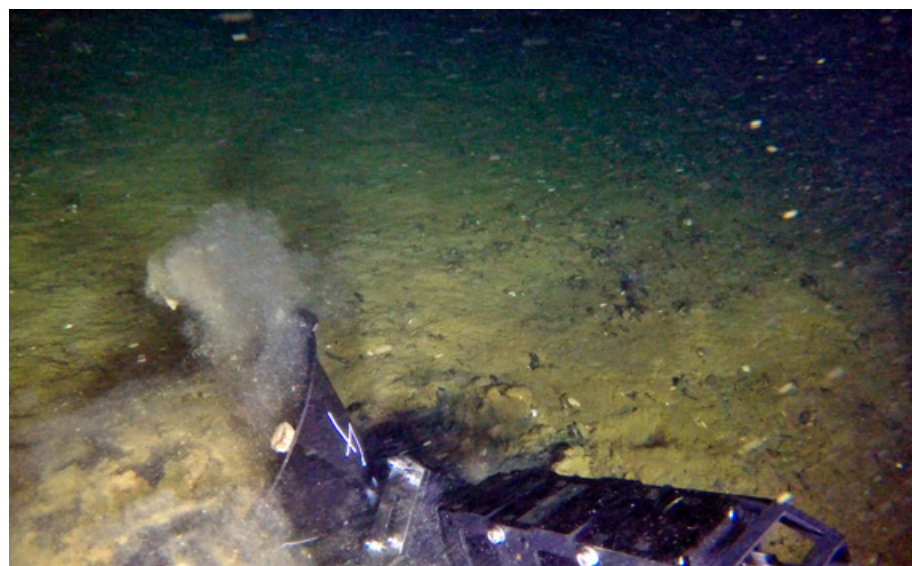
7 POBÓR PRÓB GRUNTU DO BADAŃ CHEMICZNYCH

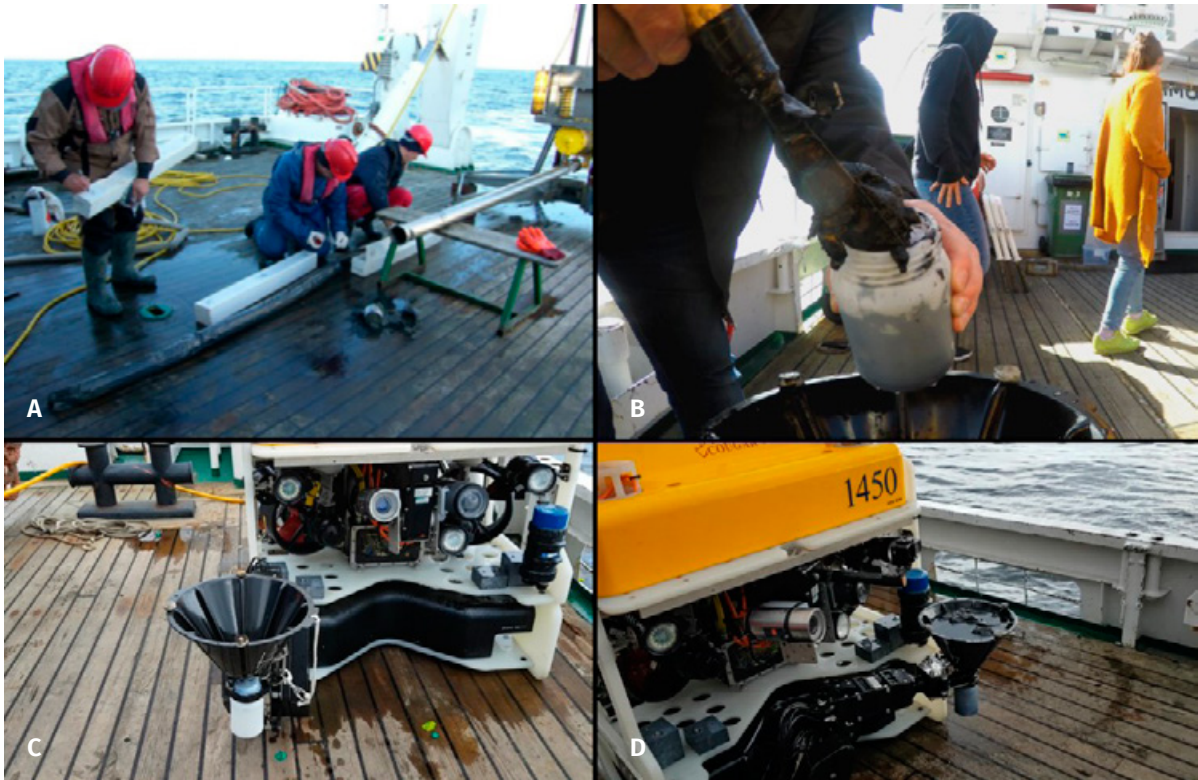
Analizując stan wraku łatwo dojść do wniosku, że przy tym stanie uszkodzeń oraz rodzaju paliwa jakie było przewożone statkiem, istnieje wysokie prawdopodobieństwo, iż część paliwa ciężkiego wylała się ze zbiorników i zalega na dnie w rejonie wraku. W związku z tym wykorzystano dwa sposoby poboru prób gruntu wokół wraku. Rozpoznanie prowadzono w dwóch strefach: strefie odległej o 30 do 50 metrów od wraku – gdzie pobrane zostały próby wibrosondą VKG 3 (rdzenie o długości do 3 metrów), oraz strefie bliskiej – gdzie próby pobierano w odległości bliższej niż 10 metrów, na wyniesieniu w środkowej części wraku i w obniżeniu, gdzie należało oczekiwać największego skażenia oraz dużej ilości obiektów (w tym niewybuchów, amunicji), które wypadły z tonącego statku.

Rysunek 27. Położenie pobranych prób w odniesieniu do pozycji wraku (F1-F5 pobrane wibrosondą, ROV 1 i 2 pobrane za pomocą zdalnie sterowanego pojazdu) (źródło własne na materiałach Instytutu Morskiego w Gdańsku)



Zdjęcie 26. Pobór próby gruntu w pobliżu wraku za pomocą ROV (źródło: ekspedycja 2018)



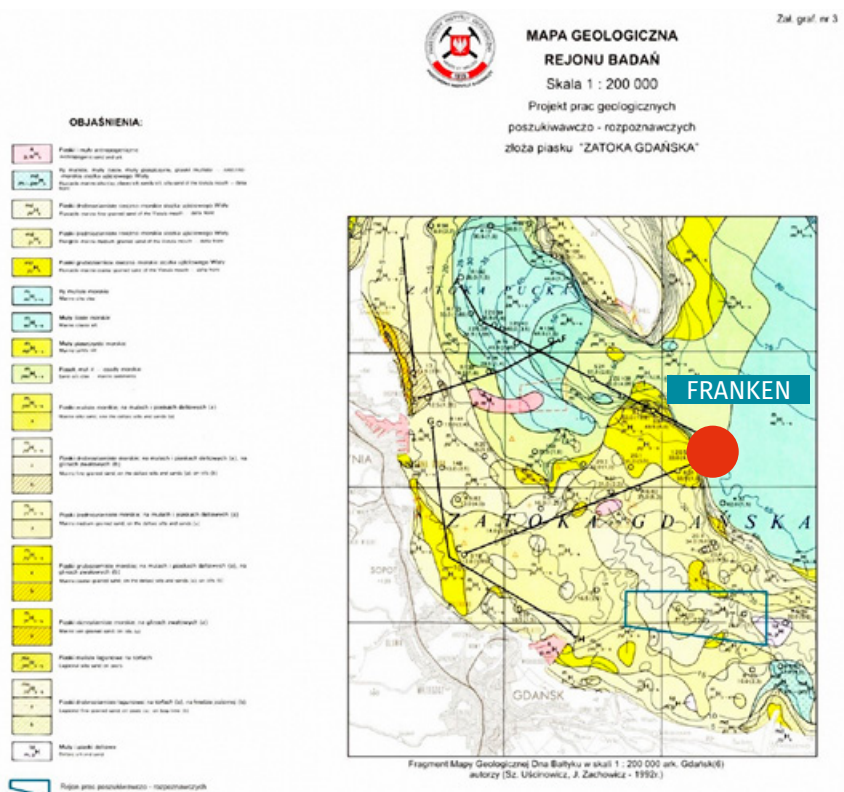


Zdjęcie 27. Techniki poboru prób gruntu zastosowane na Franken: wibrosonda VKG 3 (A), ładowanie próbnej próby do pojemnika wysłanego do laboratorium (B), Pojazd ROV z próbnikiem przed zejściem na dno (C), pojazd ROV z pobraną próbą (D) (źródło: ekspedycja 2018)

Pobór w strefie bliskiej dokonany został za pomocą zdalnie sterowanego pojazdu, gdyż użycie wibrosondy bez ścisłego nadzoru miejsca dokonywania poboru może skutkować zdetonowaniem niewybuchów, których na wraku i wokół niego leży bardzo wiele.

Rysunek 28.
Fragment Mapy Geologicznej Dna Bałtyku w skali 1:200 000 (Zatoka Gdańska) (źródło: PIG 1992)

Opracowali:
mgr Tomasz Woźniak
nr upr. geol. II - 1349
dr Piotr Przędziński



W celu określenia w jaki sposób rozlane paliwo będzie wnikało w grunt, konieczne jest określenie warunków geologicznych wpływających na zachowanie się gruntu pod wrakiem (i jego ewentualne zachowanie w przyszłości). W tym celu wykorzystane zostały badania prowadzone przez Państwowy Instytut Geologii Instytut Badawczy w Gdańsku (Rysunek 28). Budowa geologiczna powierzchniowej warstwy dna w rejonie zalegania wraku analizowana była na podstawie interpretacji materiałów archiwalnych, mapy osadów powierzchniowych w skali 1: 500 000 (Państwowy Instytut Geologiczny Sopot – Warszawa 1995) oraz bezpośrednich prac terenowych.

7.1 Metodyka badań wód i osadów

W pobranych próbkach osadów dennych oznaczono:

- a) wilgotność, całkowity węgiel organiczny, fenole, ekstrakt eterowy,
- b) niepolarne węglowodory alifatyczne (olej mineralny),
- c) wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), polichlorowane bifenyly (PCB).

Powyższe wskaźniki fizyczno-chemiczne były oznaczane w Laboratorium Zakładu Ochrony Środowiska Instytutu Morskiego w Gdańsku, posiadającym wdrożony system zarządzania jakością wg normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005, potwierdzony certyfikatem PCA nr AB 646. Metodykę stosowaną przy oznaczaniu poszczególnych parametrów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Identyfikacja zastosowanych metod analizy osadów dennych

Lp.	Rodzaj badania	Metoda badań
1	Wilgotność w 1050 C	Metoda wagowa. Procedura badawcza PB-11 wydanie 3 z dnia 15.03.2010 r.
2	Całkowity węgiel organiczny	Metoda spektrometrii w podczerwieni wg normy PN-ISO 10694:2002 i PN-EN 13137:2004
3	Fenole lotne (indeks fenolowy)	Metoda spektrofotometryczna z 4-aminoantypiryną po destylacji wg PN-ISO 6439:1994
4	Ekstrakt eterowy	Próbki po zakwaszeniu kwasem solnym ekstrahowano eterem naftowym w aparacie Soxhleta na łaźni wodnej przez 4 godziny. Uzyskany ekstrakt suszono bezwodnym Na ₂ SO ₄ , oddestylowano eter a pozostałość po wysuszeniu w temp. 40°C oznaczono metodą wagową
8	Niepolarne węglowodory alifatyczne (olej mineralny)	Metoda chromatografii gazowej po ekstrakcji analitów w heksanie. Oznaczanie na chromatografie GC – MS
9	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)	Ekstrakcja analitów z próbek osadów dichlorometanem. Oznaczanie wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych metodą GC – MSD (chromatografia gazowa z detektorem spektrometrii masowej). Procedura własna PB-09. Wydanie 2 z dnia 10.05.2007 r.
10	Polichlorowane bifenyly (PCB)	Ekstrakcja analitów z próbek osadów mieszaniną heksan/aceton. Oznaczanie polichlorowanych bifenyli (PCB) w ekstraktach acetonowych metodą GC–MSD (chromatografia gazowa z detektorem spektrometrii masowej). Procedura własna PB-09. Wydanie 2 z dnia 10.05.2007 r.

7.2 Wyniki badań

Wyniki badań osadów dennych pobranych w pobliżu wraku Franken przedstawiono w sprawozdaniu z badań nr 120/18 z dn. 05.06.2018 r. zamieszczonym na końcu opracowania oraz w Tabeli 3. Zawartości oznaczonych substancji porównano z wartościami typowymi dla osadów południowego Bałtyku i Zatoki Gdańskiej oraz z wartościami granicznymi określonymi w załączniku nr 1 do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 16.04.2002 r. w sprawie rodzaju oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony (Dz. U. Nr 55, poz. 498 z dn. 16.04.2002 r.).

Tabela 3. Zestawienie wyników analizy osadu z wartościami literaturowymi typowymi dla danego obszaru badawczego oraz Rozporządzeniem Ministra Środowiska (Dz. U. Nr 55, poz. 498 z dn. 16.04.2002 r. i Dz. U. 2015, poz. 796)

Lp.	Rodzaj badania	Jednostka	Osady dennie pobrane w pobliżu wraku Franken		Wartość graniczna ²⁾	Dane literaturowe
			Próbka Franken 1	Próbka Franken 2		
1	Wilgotność w 105°C	%	71,1±9,6	72,7±9,8	BD.	BD.
2	Całkowity węgiel organiczny (TOC)	% s.m.	17,55±5,58	14,26±4,54	BD.	4-8% ³⁾
3	Fenole	mg/kg s.m.	17,4	7,37	BD.	0,13-30 ⁹⁾ osady wokół wraku Stuttgart
4	Ekstrakt eterowy	mg/kg s.m.	187 584	87 716	BD.	330- 24 000 ⁹⁾ osady wokół wraku Stuttgart
Węglowodory ropopochodne						
1	Olej mineralny (C ₁₂ – C ₃₅)	mg/kg s.m.	62 987±12597	32 816±6563	50 ⁷⁾ Finlandia 100 ⁷⁾ Estonia, Łotwa 300 ⁷⁾ Niemcy	<0,01-57,0 ⁸⁾ osady z Kłapowiska Gdynia 200-600 ⁸⁾ osady portowe
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)						
1	Naftalen	mg/kg s.m.	4,7±1,4	3,6±1,1	1,5	0,5085)
2	Acenaftalen	mg/kg s.m.	4,3±1,3	2,18±0,65	1,5	0,003-0,384 ⁵⁾
3	Acenaften	mg/kg s.m.	128±38	62±18	1,5	<0,050– 0,182 ⁵⁾
4	Fluoren	mg/kg s.m.	119±36	47±14	1,0	0,066-0,205 ⁵⁾
5	Fenantren	mg/kg s.m.	478±143	206±62	1,0	BD.
6	Antracen	mg/kg s.m.	74±22	60±18	1,0	BD.
7	Fluoranten	mg/kg s.m.	313±94	186±56	1,0	0,005-0,290 ⁵⁾
8	Piren	mg/kg s.m.	194±58	116±35	BD.	BD.
9	Benzo(a)antracen	mg/kg s.m.	82±33	48±19	BD.	BD.
10	Chryzen	mg/kg s.m.	66±20	41±12	BD.	BD.
11	Benzo(b)fluoranten	mg/kg s.m.	48±14	27,8±8,3	BD.	BD.
12	Benzo(k)fluoranten	mg/kg s.m.	46±14	24,7±7,4	BD.	BD.
13	Benzo(a)piren	mg/kg s.m.	62±19	33±10	BD.	BD.
14	Indeno(1,2,3,-cd)piren	mg/kg s.m.	45±14	22,0±6,6	BD.	BD.
15	Dibenzo(a,h)antracen	mg/kg s.m.	104±31	4,0±1,2	BD.	BD.
16	Benzo(g,h,i)perylene	mg/kg s.m.	11,2±3,4	14,5±4,4	BD.	BD.
17	Suma WWA	mg/kg s.m.	1 780±597	899±302	≤ 10	BD.
Polichlorowane bifenyle (PCB)						
1	PCB 28	mg/kg s.m.	p,0,0001	0,0010±0,0002	BD.	BD.
2	PCB 52	mg/kg s.m.	p,0,0001	0,0031±0,0012	BD.	BD.
3	PCB 101	mg/kg s.m.	p,0,0001	p,0,0001	BD.	BD.

4	PCB 118	mg/kg s.m.	0,0043±0,0022	0,0055±0,0028	BD.	BD.
5	PCB 138	mg/kg s.m.	0,0091±0,0027	0,0186±0,0056	BD.	BD.
6	PCB 153	mg/kg s.m.	0,0102±0,0041	0,0194±0,0078	BD.	BD.
7	PCB 180	mg/kg s.m.	0,0110±0,0038	0,0207±0,0072	BD.	BD.
8	PCB suma (IUPAC nr 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)	mg/kg s.m.	0,0346±0,0145	0,0683±0,0287	0,3	<0,0171 ⁹⁾

1) Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16.04.2002 r. w sprawie rodzaju oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony (Dz. U. Nr 55, poz. 498); 2) Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz. U. 2015, poz. 796); 3) Szczepańska, Uścińowicz, 1994; 4) Uścińowicz, Zachowicz 1994, 5) Uścińowicz i in., 2008; 6) Jonsson, Kankaanpaa, 2003; Uścińowicz 1999; 7) Sapota i in., 2013; 8) Dembska i in., 2012; 9) Dembska i in., 2016

Osady denne pobrane w rejonie wraku Franken charakteryzowały się znaczną zawartością węgla organicznego występującego na poziomie 14-17%, co wskazuje na osady bogate w materię organiczną. Były one znacznie zanieczyszczone substancjami ropopochodnymi. Ekstrakt eterowy wyniósł od 87 716 do 187 584 mg·kg⁻¹s.m., oleje mineralne od 32 816 do 62 987 mg·kg⁻¹s.m., zaś suma WWA od 899 do 1 780 mg·kg⁻¹s.m. Stężenia badanych substancji przekraczały od ok. 10-krotnie (naftalen) do 1000-krotnie (fluoranten) wartości spotykane w osadach Zatoki Gdańskiej. Badane osady zawierały też podwyższone stężenia fenoli od 7,37 do 17,4 mg·kg⁻¹s.m. oraz podwyższoną zawartość polichlorowanych bifenyli (PCB), która kształtowała się na poziomie 0,03-0,07 mg·kg⁻¹s.m. i była około 2-4 razy wyższa niż spotykana w osadach dennych w rejonie Zatoki Gdańskiej.

Uzyskane wartości stężeń badanych substancji mogą wskazywać na prawdopodobne zanieczyszczenie badanego osadu paliwem z omawianego wraku.

Porównując wyniki badań pobranych próbek, stwierdzono około 2-krotnie wyższe stężenia wszystkich badanych substancji w próbce nr 1 w stosunku do próbki nr 2.

Otrzymane wyniki badań osadów dennych pobranych wokół wraku Frankena są znacznie wyższe w stosunku do danych otrzymanych w 2016 roku. Osady denne pobrane wokół statku w 2016 roku charakteryzowały się następującym poziomem zanieczyszczeń: ekstrakt eterowy 348-773 mg·kg⁻¹s.m., oleje mineralne 51-109 mg·kg⁻¹s.m., fenole 0,12-0,26 mg·kg⁻¹s.m., węgiel organiczny 21-50 mg·kg⁻¹s.m., suma WWA 0,035-0,76 mg·kg⁻¹s.m., suma PCB 0,0008-0,0056 mg·kg⁻¹s.m. Jednakże w wyniku niniejszego porównania nie można jednoznacznie wnioskować o znacznym pogorszeniu stanu osadów dennych wokół wraku na przestrzeni 2 lat. Po pierwsze nie znamy dokładnej lokalizacji punktów poboru próbek w 2016 roku, prawdopodobnie były pobierane w większej odległości od wraku niż pobierane w 2018 r. Po drugie, próbki pobierane w 2016 roku są to próbki rdzeniowe o długości ok. 1,7-3,0 m. Do badań analitycznych próbki były uśredniane po całej długości rdzenia, co mogło wpłynąć na otrzymanie niższych wyników, ponieważ warstwy niższe są na ogół mniej zanieczyszczone niż warstwy powierzchniowe osadów.

W 2018 roku próbki do badań były pobierane w bliskim sąsiedztwie wraku (w polu bliskim), na co pozwoliła metoda poboru próbek przy użyciu pojazdu podwodnego, oraz były pobierane z warstwy powierzchniowej, tj. do głębokości ok. 15 cm.

7.3 Porównanie uzyskanych wyników badań z wartościami granicznymi wynikającymi z odpowiednich uregulowań prawnych

Uzyskane wyniki **WWA w osadach dennych** porównano z wartościami granicznymi określonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz. U. z 2015 r., poz. 796) oraz w uchylonym z dniem 23 stycznia 2013 r. rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony (Dz. U. z 2002 r., Nr 55, poz. 498), które to rozporządzenia podają tożsame wartości graniczne. Z dokonanego porównania wynika, że zawartość wymienionych w powyższym rozporządzeniu

WWA – benzo(a)antracen ($<1,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), benzo(b)fluoranten ($<1,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), benzo(k)fluoranten ($<1,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), benzo(ghi)perylene ($<1,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), benzo(a)piren ($<1,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), dibenzo(ah)antracen ($<1,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), indeno(123cd)piren ($<1,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) – została przekroczona dla wszystkich limitowanych związków. Wskazuje to na duże zanieczyszczenie osadu dennego w badanym rejonie. W przypadku kiedy stężenie sumy 16 WWA przekracza wartość $8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m}$ uznaje się, że grunt staje się odpadem.

Uzyskane wyniki **polichlorowanych bifenyli (PCB) w osadach dennych** porównano z wartościami granicznymi określonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz. U. z 2015 r., poz. 796) oraz w uchylonym z dniem 23 stycznia 2013 r. rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony (Dz. U. z 2002 r., Nr 55, poz. 498), które to rozporządzenia podają tożsame wartości graniczne. Z dokonanego porównania wynika, że określona granica stężeń dla sumy kongenerów PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 i 180 ($< 0,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) nie została przekroczona dla żadnej z badanych próbek osadu, na żadnej z badanych głębokości. Na tej podstawie można stwierdzić, że osady denne pobrane w sąsiedztwie wraku Franken nie są zanieczyszczone związkami z grupy PCB w stopniu, który by uniemożliwiał przetwarzania bądź utylizację odpadu, lub też składowaniu ich w morzu.

W stosunku do **oleju mineralnego** nie ma obecnie polskich norm prawnych podających wartość graniczną stężenia olejów mineralnych wskazującą na zanieczyszczenie osadów dennych. Regulacje prawne istnieją w krajach nadbałtyckich takich jak: Estonia, Finlandia, Niemcy, Łotwa, Litwa i Rosja. Większość z tych państw określa dwie wartości graniczne definiowane jako pierwsza i druga wartość graniczna. Jeśli zawartość substancji niebezpiecznych w osadzie czerpalnym nie przekracza pierwszej wartości granicznej, to osad uznaje się za czysty i może być składowany w morzu. Natomiast zawartość substancji niebezpiecznych w osadzie czerpalnym powyżej drugiej wartości granicznej wskazuje, że osad jest zanieczyszczony i nie może być składowany w morzu. Przykładowe wartości graniczne obowiązujące np. na Łotwie to $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (pierwsza wartość graniczna) i $400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (druga wartość graniczna) i w Finlandii $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (pierwsza wartość graniczna) i $1\,500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (druga wartość graniczna) (Sapota i in., 2013). Odnosząc otrzymane wyniki stężenia oleju mineralnego z badanego obszaru ($32\,816$ do $62\,987 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) do przedstawionych wartości granicznych, można stwierdzić, że badany osad jest osadem zanieczyszczonym olejami mineralnymi.

7.4 Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na możliwość zanieczyszczania próbek osadów dennych pobranych w pobliżu wraku Franken paliwem z zatopionego statku. Świadczą o tym bardzo wysokie wartości oleju mineralnego, WWA, substancji ekstrahujących się eterem naftowym oraz fenoli, a także podwyższona zawartość węgla organicznego.

W celu określenia stopnia skażenia osadów dennych wokół omawianego wraku oraz zagrożenia, jakie to niesie dla środowiska morskiego, należałoby zagęścić siatkę poboru próbek powierzchniowych osadów dennych oraz w miejscach najbardziej zanieczyszczonych rozważyć dodatkowy pobór próbek osadów rdzeniowych, w których analizy wykonywane byłyby w poszczególnych warstwach, co umożliwiłoby określenie do jakiej głębokości osady mogą być skażone wydobywającym się paliwem.

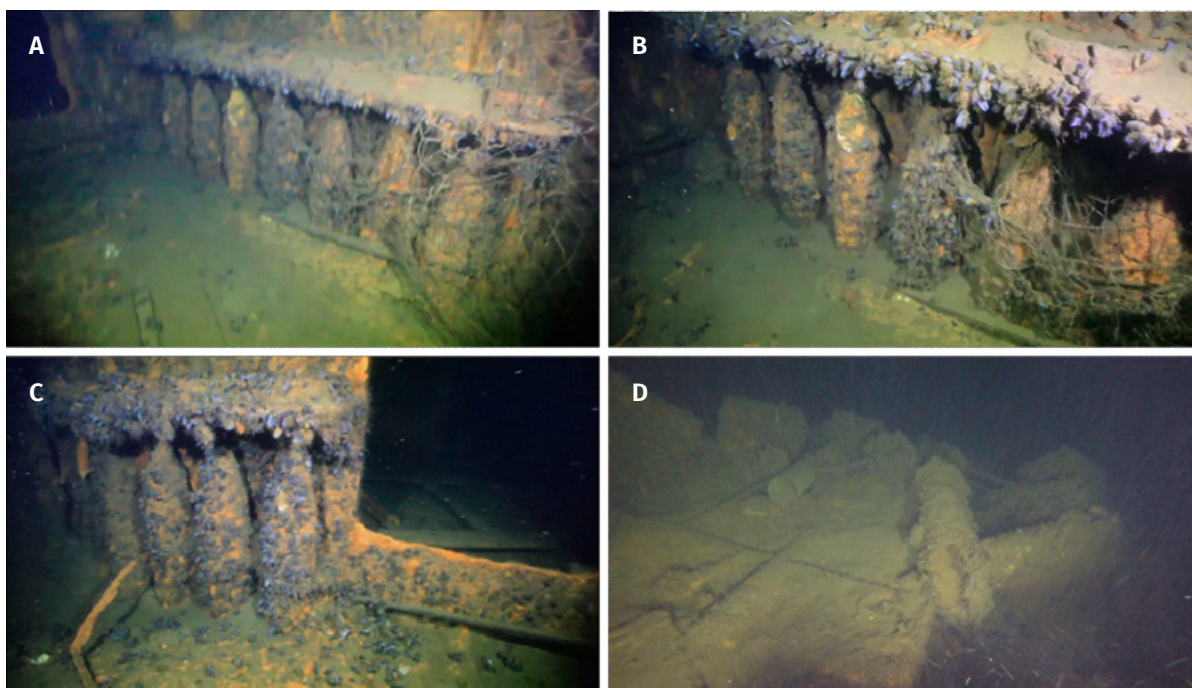
Wyniki badań prób gruntu pobranych w bezpośredniej bliskości wraku (w polu bliskim) wykazało na ogromne przekroczenia norm. Poziom WWA dla próby we wgłębieniu wyniósł $1\,780 \text{ mg/kg s.m.}$, co oznacza ponad 200-krotne przekroczenie normy, a dla próbki na podwyższeniu (pole bliskie) odczyt wyniósł 899 mg/kg s.m. co stanowi 120-krotne przekroczenie normy.

Poziom ilości olejów mineralnych w każdym kilogramie suchej masy od 500 do 1000-krotnie przekracza normę. W składzie wykrytych substancji znaleziono wielką ilość fenoli, ekstraktów eterowych oraz ogromną ilość węgla organicznego. Obecność tak dużej ilości węgla organicznego wskazuje, że w rejonie wraku następuje (prócz skażenia) szybka sedymentacja substancji organicznych, czemu nie należy się dziwić ze względu na położenie wraku w zasięgu wód wyływających z Wisły (leży na wprost ujścia Wisły) oraz na skraju Głębi Gdańskiej, gdzie warunki dla życia biologicznego są skrajnie niekorzystne (płytko zalegający siarkowódór).

8 ZAGROŻENIA DLA PRZYSZŁEJ OPERACJI OCZYSZCZANIA

Podjmując decyzję o oczyszczeniu wraku z zalegającego paliwa należy uwzględnić wszystkie zagrożenia jakie na nim występują. Jednym z nich jest obecnie stabilny, ale niedookreślony stan konstrukcji, zagrożonej zawaleniem (patrz pęknięcie kadłuba na dużej długości). Drugim jest duża ilość niezidentyfikowanych obiektów, które mogą być niewybuchami rozmieszczonymi na wraku (zarówno w magazynach jak i na pokładzie – prawdopodobnie wiele takich obiektów leży wokół wraku) (Zdjęcie 28, Zdjęcie 29, Zdjęcie 30).

Warunki pracy dla firmy oczyszczającej mogą zostać bardzo ograniczone. Zanim nastąpi rozpoczęcie prac konieczne będzie przeprowadzenie szerokiego rozpoznania pod kątem występowania niewybuchów, a być może nawet prac saperskich polegających na usunięciu niewybuchów z wraku (jeżeli takie obiekty zostaną znalezione i zidentyfikowane). Podnosi to znacząco koszt wykonania prac oczyszczających, wzmacnia czujność nurków lub ekip obsługujących zdalnie sterowane pojazdy, gdyż każde nieroztropne działanie może przyczynić się do utraty życia i spowodowania niekontrolowanego rozlewu. Znacząco również wzrosną koszty ubezpieczenia takiej operacji.



Zdjęcie 28. Barbeta burtowej (A i B) oraz rufowej (C) armaty przeciwlotniczej kalibru 150 mm z pociskami stojącymi w parku amunicyjnym, amunicja rozrzucona na pokładzie górnym (D) (źródło: ekspedycja 2018, fot. T. Trojanowicz)

Domniemanie występowania niewybuchów podjęto w oparciu o wpisy w dzienniku wojennym Kwatery Głównej Niemieckiej Marynarki Wojennej (dla teatru wojny na Bałtyku) SKL (niem. *Seekriegsleitung*). Z tego źródła wiemy, że 22 kwietnia 1945 roku na pokładzie okrętu Franken, jako ładunek **znajdowała się następująca amunicja:**

- 1 000 pocisków kalibru 150 cm dla krążownika Nürnberg,

- 1 000 pocisków kalibru 150 mm przeznaczonych na niszczyciele grupy Thiele,
- 1 750 pocisków kalibru 127 mm przeznaczonych na niszczyciele grupy Thiele,
- nieokreśloną ilość amunicji przeciwlotniczej.

Franken był uzbrojony w 3 armaty kalibru 150 mm, 6 armat przeciwlotniczych 37 mm, 16 kalibru 20 mm oraz 1 wyrzutnię rakiet kierowanych przewodowo do zwalczania samolotów nisko lecących. **Do obrony Franken miał w magazynach:**

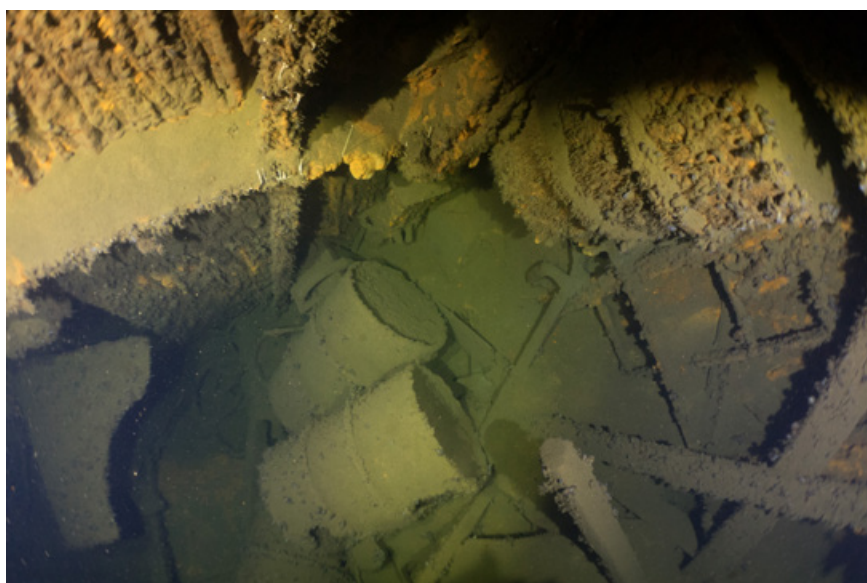
- 3× 200 (czyli 600) pocisków kalibru 150 mm,
- 6× 2 000 (czyli 12 000) pocisków kalibru 37 mm,
- 16× 2 000 (czyli 32 000) pocisków kalibru 20 mm,
- 8 rakiet kierowanych przewodowo.

Brak jest zapisów o przekazaniu amunicji na inne jednostki, choć z opisu sytuacji wojennej w owym okresie mało prawdopodobne jest, aby tak niezbędną dla prowadzenia wojny amunicja nie została wykorzystana (tj. przekazana na inne jednostki bojowe). Natomiast jest wielce prawdopodobne, że amunicja niezbędna do obrony własnej pozostała na okręcie (i częściowo została zużyta w trakcie obrony w dniu zatopienia).

Zdjęcie 29. Skrzynie z nieznaną zawartością (możliwe, że z częściami, choć wyglądają jak skrzynie z amunicją mniejszych kalibrów) na pokładzie głównym pod pomostem (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)



Zdjęcie 30. Beczki z nieznaną substancją w studni centrali sterowania zaworami paliwowymi (źródło: ekspedycja 2018, fot. M. Czermiński)



9 PODSUMOWANIE BADAŃ PRZEPROWADZONYCH W TRAKCIE EKSPEDYCJI

1. **Obecny stan załadowania wraku statku Franken jest nieznan** – w trakcie ekspedycji nie udało się jednoznacznie określić, w których zbiornikach jest paliwo. Jednak udało się określić, w których paliwo nie może się znajdować ze względu na ich stan obecny – rozszczelnienie. Z zebranej dokumentacji fotograficznej i filmowej wynika, że w zbiornikach, które wyglądają na szczelne mogłoby zmieścić się 4 608 ton różnego rodzaju paliw. Wiemy, że w momencie zatonięcia, na statku było dużo zapasów – w tym paliwo w ilości 2,7 tys. ton (3 136 m³) nie licząc paliwa koniecznego do ruchu statku. Prawie połowa objętości zbiorników jest nadal zamknięta, bez dostępu z zewnątrz, co oznacza, że w każdym z 5 szczelnych zbiorników możliwe jest zaleganie paliwa. Szczelne zbiorniki mają pojemność od 573 ton do 1 221 ton.
2. W dniach od 23 kwietnia do 26 kwietnia 2018 roku nurkując ze statku LITORAL **nurkowie spędzili około 60 godzin w wodzie**, w tym około 13 godzin na pokładzie wraku.
3. W dniach od 23 kwietnia do 28 kwietnia 2018 roku grupa operująca zdalnie sterowanym pojazdem podwodnym wykonała 12 zanurzeń. Łącznie **pojazd ROV spędził w wodzie około 30 godzin**, w tym 20 godzin wykonując zdjęcia i filmy wraku (w tym 10 godzin towarzysząc nurkom), oraz 10 godzin wykonując inspekcję całego wraku.
4. **Wykonano wiele zdjęć statycznych oraz wiele godzin ujęć filmowych:**
 - do filmu promującego projekt,
 - do wykonania filmów w technice VR – 5 punktów (w tym: 2 nurkowie, 3 ROV),
 - do celów komunikacyjnych i technicznych (setki zdjęć).
5. Mimo poszukiwań nie udało się znaleźć miejsc, w których można sfilmować wycieki ropy. Sfilmowane pęknięcia i inne niewralgiczne miejsca na statku wskazują na zbliżającą się „rychłą katastrofę”. **Uchwycono rozległość uszkodzeń kadłuba**, jego elementów, pokryw zbiorników.
6. W celu wykonania mozaiki fotograficznej służącej do tworzenia fotogrametrycznego obrazu 3D części pokładu i burt statku Franken, w miejscu gdzie znajdują się zbiorniki paliwowe **wykonano kilkaset zdjęć technicznych**. Zgromadzony materiał doskonale nadaje się jako dokumentacja stanu wraku wykorzystywana do analizy uszkodzeń.
7. Istnieje możliwość wykonania mozaikowania z klatek filmu wykonanego wg określonej procedury (jak dla zdjęć mozaikowych). Z wykonanych zdjęć filmowych **powstanie mozaika lewej burty i fragmentu pokładu wraku**.
8. Sprawdzono również (częściowo przez nurków i dokładnie za pomocą robota ROV) obie burty wraku w miejscach gdzie rozmieszczone są zbiorniki. Nie znaleziono żadnych przebić i wycieków paliwa. **W kilku miejscach burty były poważnie uszkodzone** (z rozerwaniem stalowych powłok kadłuba) dotyczyło to jednak rejonu dziobowej nadbudówki, czyli miejsca gdzie zbiorniki zostały zniszczone już w trakcie złamania się kadłuba po ataku lotniczym.
9. W miejscach stwierdzonych wycieków planowano wystawić łapki na paliwo własnej konstrukcji. Taką **łapkę wystawiono na wraku w okolicy jednego z włazów do ładowni** – bez widocznych efektów.
10. Mimo iż nurkowie dokładnie oglądali pokrywy luków (w tych miejscach występuje największe prawdopodobieństwo wycieku paliwa), nie stwierdzono występowania takich wycieków co oznacza, że:
 - pokrywy zbiorników nadal są szczelne,
 - na pokładzie głównym statku, eksponowanym na bezpośrednie działanie stoney wody nie doszło jeszcze do perforacji,

- zbiorniki poniżej pokładu wypełnione są paliwem lub inną substancją, która chroni stal kadłuba przed korozją – czego wynikiem jest nadszpiewanie dobra kondycja pokładu.
11. Stwierdzono, że **niektóre ze zbiorników zostały poważnie uszkodzone w trakcie walk oraz zaraz po zatonięciu** (Zdjęcia 17-19). Na lewej burcie, pod dziobową nadbudówką, oderwany jest ogromny fragment burty. Zbiornik jest prawdopodobnie pusty, istnieje jednak duże prawdopodobieństwo, że w zakamarkach, pod pokładem, w narożnikach wręg i pokładników znajduje się uwięzione paliwo. Pomimo prób nie udało się wejść pojazdem do zbiornika – nie można wykluczyć ani potwierdzić, że w zbiorniku zalega paliwo ciężkie na jego dnie lub paliwo lekkie pod zamkniętą częścią górną zbiornika. Podobna sytuacja jest w pomieszczeniach nadbudówki gdzie według opinii nurków, którzy tam nurkują można spotkać wnęki, niszę gdzie paliwo jest uwięzione.
 12. W oparciu o wykonaną mozaikę **zidentyfikowano miejsce bardzo poważnego uszkodzenia kadłuba w rejonie pod dziobową nadbudówką**. Nie ma pewności czy uszkodzenie w tym miejscu powstało w wyniku wybuchu podczas ataku i zatopienia statku kiedy to statek przełamał się 15 metrów dalej w stronę dziobu, czy podczas zderzenia tonącego wraku z dnem, czy też pęknięcie powstało w wyniku ogromnych obciążeń jakim obecnie poddawany jest jego kadłub. Analizując charakter pęknięcia, które biegnie od dziobu w stronę rufy można stwierdzić, iż część pęknięcia od strony dziobu jest stara – co sugerują skorodowane i pokryte grubym nalotem poszarpane krawędzie pęknięcia, a część w stronę rufy jest relatywnie świeża – co sugerują długie, ostre, słabo skorodowane krawędzie rozrywanych blach. Pęknięcie ma około 10 metrów długości i jest szerokie na od 5 do 30 cm.
 13. **Ważnym zadaniem dużego pojazdu podwodnego Cougar XT było wykonanie pełnej akustycznej dokumentacji wraku**, co pozwoliło na inwentaryzację dużych uszkodzeń kadłuba. Wykonując równoczesne dokumentowanie zdjęciowe i filmowanie kolejnych elementów kadłuba rozpoznany został aktualny, rzeczywisty stan wraku. Zdjęcia akustyczne i fotograficzne zostały wykorzystane do przygotowania dokumentacji niezbędnej do bezpiecznego przeprowadzenia oczyszczania wraku. W opracowaniu (Rysunek 26) pokazano około 30 metrowy odcinek pokładu wraz z burtą. Kamera akustyczna sięga w głąb pokładu na około 10-12 metrów pokazując urządzenia i konstrukcje na pokładzie głównym.
 14. **Wyniki badań chemicznych prób gruntu pobranych w bezpośredniej bliskości wraku (w polu bliskim) wykazały ogromne przekroczenia norm**. Poziom wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) wchodzących w skład paliw dla próby we wgłębieniu wyniosło 1 780 mg/kg s.m., co oznacza około 200-krotne przekroczenie normy, a dla próbki na podwyższeniu (pole bliskie) odczyt wyniósł 899 mg/kg s.m., co stanowi 120-krotne przekroczenie normy.
 15. **Poziom ilości olejów mineralnych w każdym kilogramie suchej masy od 500 do 1000-krotnie przekracza normę**.
 16. W składzie wykrytych substancji **znaleziono znaczącą ilość fenoli, ekstraktów eterowych oraz ogromną ilość węgla organicznego**.
 17. Obecność tak dużej ilości węgla organicznego wskazuje, że w rejonie wraku następuje (prócz skażenia) szybka sedymentacja substancji organicznych, czemu nie należy się dziwić, gdyż wrak leży w zasięgu wód wypływających z Wisły (leży na wprost ujścia Wisły) oraz na skraju Głębi Gdańskiej gdzie warunki dla życia biologicznego są skrajnie niekorzystne ze względu na płytko zalegający siarkowódór.
 18. Podejmując decyzję o oczyszczeniu wraku z zalegającego paliwa **należy uwzględnić wszystkie zagrożenia jakie na nim występują**. Jednym z nich jest obecnie stabilny, ale niedookreślony stan konstrukcji, zagrożonej zawaleniem (patrz pęknięcie kadłuba na dużej długości). Drugim jest duża ilość niewybuchów na wraku (zarówno w magazynach jak i na pokładzie – prawdopodobnie wiele niewybuchów leży wokół wraku).

19. Warunki pracy dla firmy oczyszczającej mogą zostać bardzo ograniczone i zanim nastąpi rozpoczęcie prac **konieczne będzie przeprowadzenie szeroko zakrojonych prac rozpoznawczych pod kątem niewybuchów**, a być może nawet prac saperskich polegających na usunięciu niewybuchów z wraku. Znacząco podnosi to koszt wykonania prac oczyszczających, wzmaga czujność nurków lub ekip obsługujących zdalnie sterowane pojazdy gdyż każde nieroztropne działanie może przyczynić się do utraty życia i spowodowania niekontrolowanego rozlewu. Znacząco wzrosną koszty ubezpieczenia takiej operacji.



fot. M. Procajło

10 PRZEGLĄD ZNANYCH METOD OCZYSZCZANIA WRAKÓW, KTÓRYCH CHARAKTERYSTYKA ODPOWIADA WRAKOWI STATKU FRANKEN

Spośród bardzo wielu metod oczyszczania wraków zanieczyszczających lub zdolnych do zanieczyszczenia środowiska morskiego, analizie poddano tylko te metody, które przeznaczone są do wraków nadal zawierających paliwo i nie wykazujących zanieczyszczeń dna w rejonie zalegania. Do nich należy wrak statku Franken. W obecnej chwili nie stwierdzono większych rozlewów ciężkiego paliwa w bezpośredniej bliskości wraku, natomiast w jego zbiornikach zalega nieokreślona ilość paliwa, które może zostać uwolnione i zanieczyścić środowisko w obszarze Zatoki Gdańskiej. Analizę ograniczono do metod najlepiej pasujących do lokalnych warunków. Wybrano te, których można użyć w obecnych warunkach:

- zasypywanie całego wraku wraz ze skażonym osadem,
- odpompowanie paliwa z wraku z użyciem systemów nurkowych i systemu *hot-tapping*,
- odpompowanie paliwa z wraku z użyciem zdalnych systemów (ROV) i systemu *hot-tapping*.

Przy wyborze operacji oczyszczania i pompowania paliwa z wraku dodatkowo należy rozpatrzyć potrzebę zastosowania innych technologii wspomagających oczyszczanie dna oraz zabezpieczających przed wtórnym skażeniem, takich jak:

- zapory pływające (*booms*),
- zbieracze (*skimmers*),
- separatory oleju, wody i osadu,
- zbiorniki mobilne i pływające,
- spalanie paliwa na powierzchni wody.

Dodatkowo należy uwzględnić wysokie prawdopodobieństwo występowania we wraku niewybuchów, amunicji, materiałów wybuchowych, Bojowych Środków Trujących lub innej niebezpiecznej chemii.

10.1 Porównanie metod i propozycje oczyszczenia zbiorników z paliwa wraku Franken

Po analizie zebranych informacji środowiskowych, danych geologicznych, wyników badań chemicznych, ekotoksykologicznych i biologicznych, analizie danych fotograficznych oraz wyników pomiarów grubości blach wraku wykonanych w trakcie ekspedycji badawczej w dniach 23-28 kwietnia 2018 roku oraz po przeprowadzeniu prac studialnych nad współcześnie stosowanymi metodami usuwania paliwa z wraków statków zalegających na dnie morza, stwierdzono, że w chwili obecnej można zalecić poniżej opisane metody zabezpieczenia środowiska przed niekontrolowanym wypływem paliwa ze zbiorników wraku Franken.

10.1.1 Zasypywanie wraku i skażonego osadu

Mimo iż zasypywanie wraku i skażonego osadu może wprowadzić zanieczyszczenia do wody pod wpływem nacisku przykrywającego osadu na dno podczas jego układania na dnie, może ono zostać uznane za skuteczne (co nie oznacza zalecania) i spełniające założenia projektu. Ułożenie na powierzchni zasypywanego obszaru geowłóknin lub innej warstwy izolującej (należy ustalić, jaki rodzaj warstwy można zastosować), powstrzymującej układany narzut przed gwałtownym wnikaniem w skażony grunt oraz wyciskaniem paliwa przez warstwę narzutową, powinno ograniczyć uwalnianie się zanieczyszczeń do wody. Dodatkowe badania powinny przyczynić się do ustalenia niezbędnej grubości warstwy narzutu oraz technologii jej układania. W sytuacji połączenia działań związanych z pracami pogłębiarskimi w rejonie Portu Północnego i innych torów podejściowych istnieje realna możliwość bardzo znacznego obniżenia związanych z tym kosztów poprzez zrzut pobranego urobku w rejonie wraku zamiast na kłapowisku. Do rozstrzygnięcia pozostaje moralny dylemat – czy mamy prawo pozostawić problem następnym pokoleniom, licząc na to, że odizolowane skażenie ulegnie samoistnej remediacji, czy też zaniechać jakichkolwiek działań narażając obecne pokolenie na kontakt ze skażoną żywnością (rybami), ryzykować zanieczyszczenie plaż paliwem, co może wyłączyć je z eksploatacji na miesiące (a nawet lata) oraz ryzykować nieodwracalnymi stratami w środowisku ekosystemu Zatoki Gdańskiej.

10.1.2 Odpompowanie paliwa z wraku z użyciem systemów nurkowych technologią *hot-tapping*

Obecnie najczęściej stosowana metoda usuwania paliwa z wraków. Jest to nowoczesna technologia polegająca na trwałym mocowaniu w burtach, dnie lub pokładach statków specjalnych zaworów, którymi odpompowuje się paliwo z zamkniętych przestrzeni zbiorników ładunkowych (tankowce) lub zbiorników statkowych paliwa służącego do napędu jednostki. Metoda użyteczna również w trakcie opróżniania zbiorników zawierających chemikalia. System składa się z zaworów wyładunkowych, zaworów wyrównawczych (regulujących ciśnienie w opróżnianych zbiornikach), systemów podgrzewania zageszczonego paliwa ciężkiego, systemów mocowania, węży, pomp, zbiorników przelewowych i ładunkowych. System obsługiwany jest przez zespół profesjonalnych nurków posiadających umiejętności i odpowiednią wiedzę, jak korzystać z tych urządzeń w warunkach morskich. Głębokość, do której można stosować taki system, ograniczona jest fizycznymi i czasowymi możliwościami nurków. Zwykle nie przekracza 100 metrów dla nurków saturowanych. Na głębokościach powyżej 100 metrów częściej korzysta się z systemów automatycznych obsługiwanych przez ROV.

10.1.3 Odpompowanie paliwa z wraku z użyciem zdalnych systemów (ROV) z technologią *hot-tapping*

Technologia podobna do systemu opierającego się na pracy nurków w technologii *hot-tapping*, zastąpionych tu przez system urządzeń zdalnie sterowanych robotów przygotowanych do działania na głębokościach do 3 000 metrów (a nawet więcej, jeżeli wystąpi taka potrzeba).

W systemie tym wszystkie prace niebezpieczne realizowane są za pomocą dużych robotów zdolnych do przebywania pod wodą przez wiele godzin lub dni, wykonujących ciężkie prace za pomocą manipulatorów sterowanych w trybie czasu rzeczywistego z pokładu jednostek nadzorujących (zwykle są to statki dynamicznego pozycjonowania).

W przypadku pracy możliwe jest zastosowanie metod mieszanych, np. przykrycie warstwą izolującą samego wraku w celu zahamowania wypływu paliwa, oczyszczenie zbiorników wraku za pomocą technologii *hot-tapping*, i poddanie samoremediacji pozostałego obszaru terenu skażonego, lub też oczyszczenie zbiorników wraku za pomocą technologii *hot-tapping* i zasypanie całego obszaru skażenia wraz z wrakiem warstwą narzutową.

10.2 Szczegółowa analiza każdej z proponowanych metod

10.2.1 Przykrywanie skażonego obszaru (*capping*)

Capping polega na pokryciu warstwą czystego materiału zanieczyszczonych osadów pozostających w miejscu, w celu odizolowania ich od środowiska. Pokrywa ta może być skonstruowana z czystych osadów, piasku, żwiru, kamieni. Bardziej złożona pokrywa może zawierać geowłókniny lub inny materiał syntetyczny oraz inne przepuszczalne lub nieprzepuszczalne materiały w wielu warstwach. Pokrywy mogą także zawierać dodatek substancji aktywnej, np. w postaci węgla organicznego lub inne miejscowe modyfikacje, w celu spowolnienia przepływu zanieczyszczeń w pokrywie (U.S. EPA 1998; U.S. EPA, 2004). Ogółem można wydzielić trzy rodzaje pokryw:

- **konwencjonalna** – piasek lub inne naturalne materiały bezpośrednio na zanieczyszczonej powierzchni osadów,
- **uzbrojona** – z dodatkową warstwą kamienia lub narzutu kamiennego, w celu zapewnienia dodatkowej ochrony przed prądami o wysokich prędkościach,
- **kompozytowa** – składająca się z kilku warstw piasku, kamienia i geowłókniny, zapewniająca dokładniejsze izolowanie.

Capping jest stosowany w przypadkach, gdzie usunięcie zanieczyszczenia byłoby zbyt kosztowne, niepraktyczne lub mogłoby spowodować dalsze rozprzestrzenianie zanieczyszczenia. Może także okazać się skuteczny jako tymczasowy środek, dopóki nie zostaną wdrożone operacje efektywnego oczyszczania w przypadku, gdy zanurzony olej jest ograniczony do określonego obszaru i stabilny (Fitzpatrick, 2013). Technologię tę najlepiej jest stosować do zatrzymywania lotnych związków organicznych i półlotnych związków organicznych (w tym polichlorowanych bifenyli – PCB oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych – WWA), pestycydów i metali (www.cpeo.org). Przykrywanie stosuje się również w przypadku, kiedy stwierdzono, że źródło zanieczyszczeń znacznie osłabło lub kiedy naturalne oczyszczanie przebiega zbyt wolno. Czynnikiem przemawiającym za wyborem tej metody jest również dostępność odpowiedniego rodzaju i ilości materiału do przykrywania (NRC, 1997).

Warunkiem koniecznym do spełnienia przy metodzie przykrywania skażonego osadu, jest ustanie pierwotnego wycieku zanieczyszczeń oraz odpowiednie warunki hydrologiczne, niepowodujące zaburzeń powierzchni dna – silne prądy mogą przemieścić materiały kryjące. Ważnym czynnikiem jest także dostępność materiału do stworzenia pokrywy oraz wytrzymałość dna w miejscu lokalizacji pokrywy (dno musi podtrzymać pokrywę). Kolejnym istotnym czynnikiem jest głębokość dna, gdyż pokrywa zmniejsza przestrzeń dostępną dla ruchu wodnego (www.cpeo.org).

Pokrywa powinna składać się z warstwy wewnętrznej z uziarnieniem rosnącym w kierunku dna, w celu uniknięcia zapadnięcia się grubego materiału. Konieczne jest również zmniejszenie przepuszczalności nasypu poprzez zastosowanie dodatkowego wodoszczelnego i odpornego na erozję pokrycia zewnętrznego lub wstrzyknięcie środka utwardzającego powierzchnię (np. cementu lub popiołu lotnego) w nasyp (Alcaro i in., 2007). W przypadku zastosowania w pokrywie warstwy z geowłókniny z substancją aktywną (np. węglem organicznym lub iłem organicznym), materiał ten jest dostarczany w postaci zwiniętej w rolki, umieszczany na zanieczyszczonych osadach i przykryty piaskiem lub innym konwencjonalnym materiałem pokrywającym o odpowiedniej grubości, w taki sposób, żeby zapewnić odpowiednie siedlisko dla bentosu (U.S. EPA, 2004).

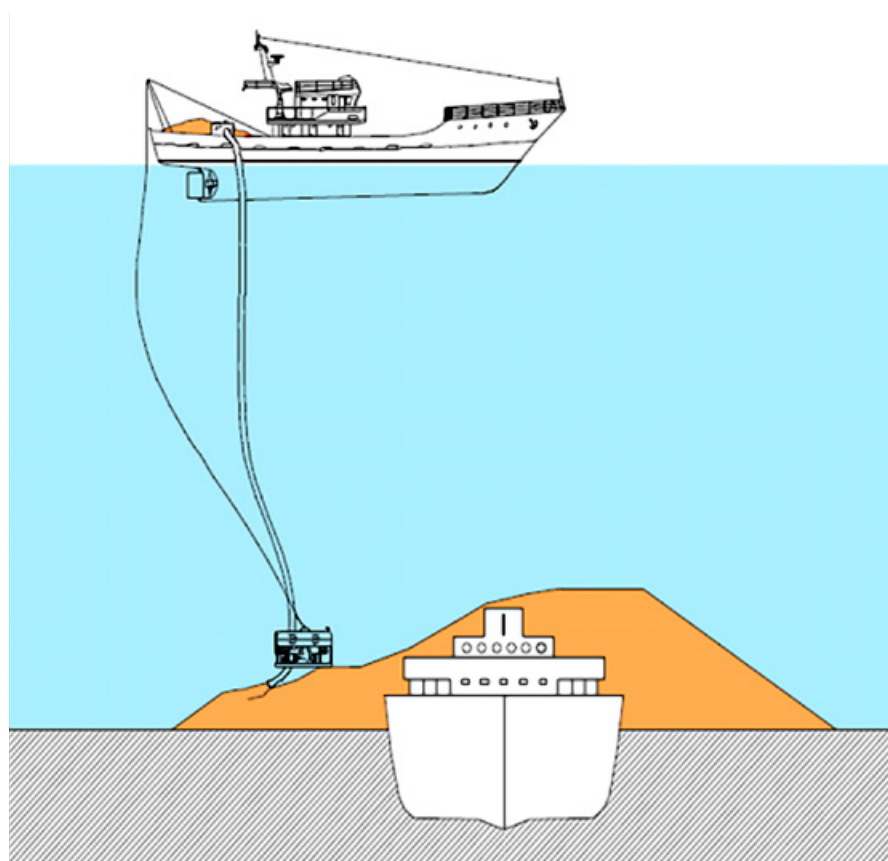
Przykłady zastosowań

Materiał pokrywający może być umieszczany na dnie ze statku za pomocą konwencjonalnej koparki chwytakowej lub może być usypywany za pomocą podwodnego systemu z dyfuzorem, rury usypującej materiał, grawitacyjnej rury spustowej typu *tremie* lub rurociągiem połączonym z pojazdem ROV wyposażonym w kamery. Więcej zobrazowanych maszyn przystosowanych do umieszczania pokrywy znaleźć można w dokumencie amerykańskiej agencji EPA oraz *Army Corps of Engineers* (U.S. EPA, 1998; U.S. ACE, 1998).

Capping był stosowany wielokrotnie w celu remediacji osadów zanieczyszczonych różnymi substancjami (m.in. związkami ropopochodnymi), w tym na obszarach morskich niedaleko brzegu. W dokumencie

U.S. EPA (1998), U.S. ACE (1998) oraz ITRC (2014) zestawione zostały przykłady zrealizowanych projektów z zastosowaniem pokryw o zróżnicowanej budowie w przypadkach różnego typu zanieczyszczeń, w tym ropopochodnych. Przykryty obszar wymaga długoterminowego monitorowania, w celu sprawdzenia integralności pokrywy oraz zapewnienia, że zanieczyszczenia nie migrują.

Istnieje również opcja zasypywania piaskiem skażonego obszaru wraz z wrakiem (Rysunek 29) oraz dodatkowo pokrycie betonem. Rozwiązanie to było brane pod uwagę w przypadkach wymagających rozległego czyszczenia lub tam, gdzie operacja oczyszczania może stanowić znaczne zagrożenie, szczególnie w przypadkach wraków wojennych z zalegającymi na dnie licznymi niewybuchami. Z taką sytuacją mamy do czynienia w przypadku statku Franken – na jego pokładzie, wokół wraku i w resztkach magazynów zalega spora ilość amunicji używanej do dział przeciwlotniczych 150 mm oraz działek mniejszych kalibrów, a także amunicja przewożona jako ładunek. Zasypywanie całego wraku było sugerowane w przypadku USS Montebello i niemieckiej łodzi podwodnej U-864 (Barrett, 2011).



Rysunek 29. Zasypywanie wraku z zastosowaniem pojazdu ROV (Alcaro i in., 2007)

Koszty metody

Koszty metody obejmują ceny materiału, jego transportu, sprzętu do magazynowania oraz do aplikacji, a także monitoringu prowadzonego podczas operacji oraz po jej przeprowadzeniu w ramach kontroli stanu pokrywy i zanieczyszczeń. Na podstawowy koszt materiału do pokrywania wpływa przede wszystkim dostępność surowca i koszt jego transportu.

National Research Council kategoryzuje koszty *cappingu* do umiarkowanych i szacuje na 1 \$/yd³, tj. 1.3 \$/m³ (NRC, 1997). Dodatkowe koszty wiążą się z ewentualnymi modyfikacjami i ulepszeniami pokrywy, jak np. dodanie węgla aktywnego do materiału pokrywającego lub obłożenie tzw. aktywną matą. W publikacji EPA oszacowano, że ceny takich modyfikacji sięgają do ok. 35 \$/m² (2013).

W oparciu o informację na temat bieżących cen pobrania, transportu i odłożenia 1 m³ gruntu morskiego (piaski, ły) pozyskane w Urzędzie Morskim w Gdyni oraz w firmach pogłębiarskich wykonujących prace pogłębiarskie na obszarze Zatoki Gdańskiej, szacujemy koszt tej operacji na 6-12 Euro/m³ przemieszczonego gruntu. W szacunku nie uwzględniono kosztów żadnych materiałów dodatkowych (np. geowłókniny) oraz działań związanych z jej ułożeniem.

Zalety metody

Capping izoluje zanieczyszczenia i minimalizuje ich rozprzestrzenianie się. Ponadto, przykrycie skażonego dna czystym osadem zapewnia stabilne warunki geochemiczne oraz wspomaga chemiczną i biologiczną degradację zanieczyszczeń, szczególnie, jeśli materiał pokrywający zawiera związki aktywne (Alcaro i in., 2007; NRC, 1997). Pokrywa piaszczysta może zapewnić czyste podłoże dla ponownej kolonizacji organizmów (Hull i in., 1999). Metoda jest stosunkowo mało inwazyjna, nie powoduje znacznego uszkodzenia lub trwałego usunięcia bentosu. Dodatkowo pokrywa zaprojektowana i umieszczona prawidłowo powinna zmniejszać narażenie ryb i innych organizmów oraz powodować bardziej pożądane warunki tlenowe poprzez zmianę w głębokości morza (Himmelheber, 2008). W stosunku do pogłębiania, *capping* nie powoduje znacznych zakłóceń w osadzie i toni wodnej, eliminuje ryzyko pochodzące z ponownego zawieszenia, rozproszenia i ulatniania się zanieczyszczonego osadu. Metoda jest stosunkowo mało skomplikowana i nie wymaga usuwania, unieszkodliwiania oraz depozycji osadu. Realizacja jest zwykle szybsza niż w przypadku usuwania osadów i jest tańsza – wymaga mniejszej ilości bardziej konwencjonalnego sprzętu oraz wykorzystuje lokalnie dostępne materiały (U.S. EPA, 2004, Himmelheber, 2008).

Ograniczenia metody

Istnieje ryzyko, że umieszczenie pierwszej warstwy materiału przykrywającego może wznieść osady do toni wodnej, a w wyniku konsolidacji osadu dennego może powstać strumień masowy (www.cpeo.org; Himmelheber, 2008; U.S. EPA 2005). W niektórych warunkach trudne może być umieszczenie pokrywy bez zakłócenia zanieczyszczeń. Zanieczyszczenia pozostają w środowisku i mogą ponownie być uruchomione, jeśli pokrywa zostanie naruszona (np. w wyniku silniejszych prądów i falowania, które mogą wpłynąć na szybszą erozję pokrywy), czemu można zapobiec stosując konstrukcje z warstwą zbrojoną na powierzchni z grubszego materiału. Zasypanie dna w pewnym stopniu zaburza i zmienia siedliska organizmów bentosowych (Himmelheber, 2008). Pokrycie czystym osadem osłabia pierwotne zanieczyszczenia, co ma znaczenie w ewentualnej późniejszej operacji usuwania zanieczyszczeń lub remediacji osadów. Pokrywa wymaga ciągłego monitorowania jej integralności (NRC, 1997). Może być potrzebne wprowadzenie ograniczeń w ruchu morskim (U.S. EPA, 2004).

W przypadku omawianego projektu metoda ta może zostać uznana za użyteczną, ale mało adekwatną do szczególnych warunków występujących na tym statku – brak skażenia dna wokół wraku oraz łatwy dostęp do zbiorników, sugerują wybór jednej z dwu kolejnych omówionych dalej metod opartych na technologii *hot-tappingu*.

Mimo to metoda może być rozważana jako efektywne, całościowe rozwiązanie problemu. Głównym powodem jest:

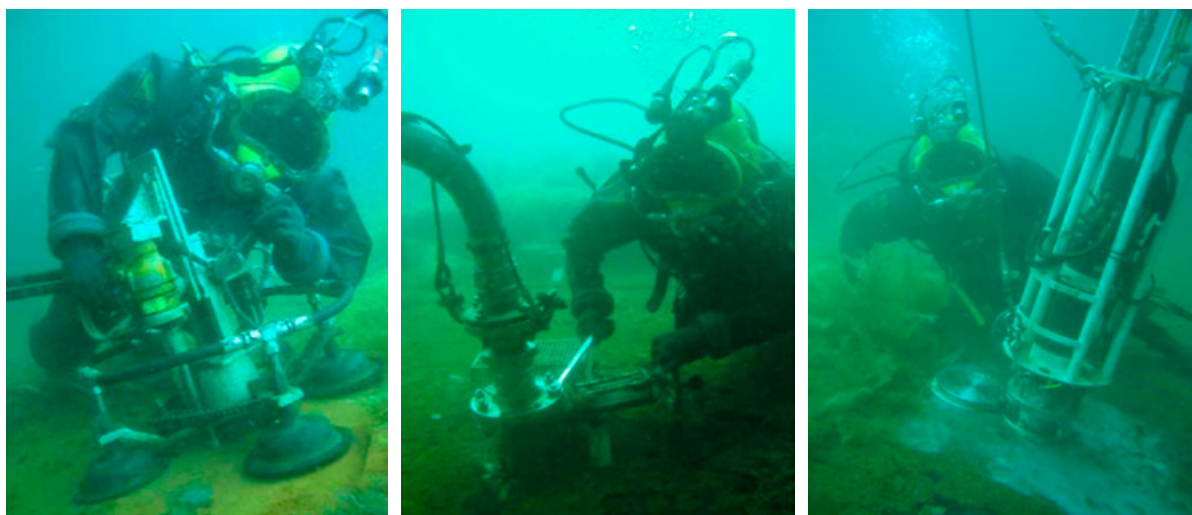
- Relatywnie **niezbyt wysoki koszt użytych materiałów** (potrzeba około 400 do 600 tys. m³ piasku do pokrycia 30 tys. m² powierzchni zawierającej w sobie wrak i dno w jego bezpośrednim otoczeniu).
- Relatywnie **niski koszt operacji** ze względu na standardowy (niewysoki) koszt użytego typowego sprzętu oraz technologii wykonywanych prac.
- **Powszechnie dostępna wiedza** na temat warunków technicznych, jakie należałoby spełnić.
- **Pozytywne doświadczenia** na temat biologicznych skutków takiej ingerencji w dno – mimo czasowego ograniczenia brak ryzyka wystąpienia trwałej eliminacji makrozoobentosu w rejonie pokrywy ułożonej nad zanieczyszczonym obszarem.
- **Brak trwałych ograniczeń dla żeglugi i nawigacji** w rejonie prowadzenia prac – ograniczenia tylko w trakcie usypywania warstwy ochronnej.
- **Niewielkie ryzyko wtórnego zanieczyszczenia** dna i wody w trakcie wykonywania operacji zabezpieczenia rozlewu.
- **Brak ograniczeń czasowych** – operację można przeprowadzać w każdej porze roku (najlepiej w okresie zimowym), nie ma konieczności wykonania całego projektu w jednym czasie.
- Możliwość **połączenia kilku inwestycji pogłębiarskich** z projektem zasypywania wraku, np. planowanego wykonania toru wodnego do portu Północnego i bazy kontenerowej DCT w Gdańsku.

- Wadą jest **brak pewności**, że ułożona warstwa ochronna będzie wystarczająco elastyczna i równocześnie wytrzymała tak, aby zachować pełną szczelność, stąd konieczność dodatkowych (wieloletnich) badań prądów morskich i falowego oddziaływania na narzutową warstwę ochronną, gdyż może tu występować rozmywanie warstwy narzutowej i ponowne odkrycie wraku.
- Wadą jest **trwała utrata obiektu** o wielkich walorach turystycznych.
- Równocześnie występuje brak pewności, czy w trakcie układania warstwy gruntu osłabiona przez korozję **konstrukcja wraku nie zapadnie się**, powodując wydostanie się dużej ilości paliwa, a co za tym idzie niekontrolowalnej katastrofy morskiej.

Bazując na obecnym stanie wiedzy o wraku i jego otoczeniu należy zdecydowanie odrzucić możliwość stosowania tej technologii w przypadku wraku statku Franken.

10.2.2 *Hot-tapping* i pompowanie paliwa ze zbiorników wraku z użyciem systemów nurkowych lub zdalnie sterowanych ROV

Technologia *hot-tapping* w obu przypadkach (praca z nurkami i praca z pojazdami ROV) jest tak bardzo podobna, że obie metody zostaną omówione jako jeden typ działania.



Rysunek 30. Nurkowie oczyszczające wrak w technologii *hot-tapping* (U.S. Navy Salvage Report, 2004)

W sytuacji, gdy w zbiornikach wraku znajduje się uwięzione paliwo, do którego można stosunkowo łatwo się dostać, najskuteczniejszą i najnowocześniejszą metodą wypompowania paliwa jest zastosowanie metody opartej na technologii *hot-tapping*. Technologia ta była z początku obsługiwana przez nurków (Rysunek 30), np. w przypadku statku Cleveco (Davin, Witte, 1997) czy Mississinewa (U.S. Navy Salvage Report, 2004).

Ze względu na niebezpieczeństwo dla nurków wzrastające wraz z głębokością, zaprojektowano specjalistyczne pojazdy ROV (*Remotely Operated Vehicles*) służące do usuwania paliwa z większych głębokości. Technologia oparta na ROV obsługującym narzędzie *hot-tapping* została pierwszy raz zastosowana przy wycieku ze statku Prestige, na głębokości 3500 m. Wykorzystano wtedy zdalnie sterowany pojazd do opróżniania zbiorników zatopionych jednostek – ROLS (*Remote Offloading System*) firmy FRAMO i *Hot Tapping Machine* (Rysunek 31) zaprojektowany przez Repsol. ROLS był również stosowany z sukcesem

w przypadkach statków: Estonia, Ievoli Sun, Yuil No. 1 i Osung No 3., Bow Marine (IMO, 2011; Michel i in., 2005).

Alfons Håkans w swoim opracowaniu przedstawia przebieg operacji oczyszczania wraku z paliwa z zastosowaniem ROV i *hot-tappingu* (przypadki SS Park Victory i MS Estonia) (Rysunek 32). **Operacja prowadzona przez pojazd ROV obejmuje następujące etapy działań:**

- Czyszczenie kadłuba w celu przygotowania go do pomiarów i penetracji.
- Analiza stanu zbiornika z paliwem i miejsca do penetracji.
- Mierzenie grubości stali.
- Oznaczanie lokalizacji ramy wręgowej i pozycji penetracji.
- Instalacja zaworu.
- Instalacja narzędzia *hot-tapping*.
- Połączenie ROV z narzędziem *hot-tapping* i poprowadzenie do miejsca operacji.
- Penetracja narzędziem *hot-tapping* i instalacja zaworu zwalniającego w zbiorniku.
- Instalacja przez narzędzie *hot-tapping* zaworu kompresującego ciśnienie.
- Dwukrotnie sprawdzenie przez ROV instalacji zaworu.
- Odprowadzenie przez ROV samozamykającego się narzędzia do zaworu zwalniającego.
- Opcje dodatkowych narzędzi: *Double Bottom Tool*, *Booster Discharge Pump Unit* i system kontroli lepkości paliwa.
- Operacja usuwania paliwa z wraku.
- Zakończenie operacji.



Rysunek 31. Urządzenie *hot-tapping* zastosowane w przypadku wraku Prestige



Rysunek 32. ROV z narzędziem *hot tapping* firmy Alfons Håkans (Estonia and Park Victory cases info 2015-12-08 KR.pdf)

Podczas operacji, urządzenie *hot-tapping* (Rysunek 32) przylega do powierzchni kadłuba wraku. Wyposażone jest w narzędzia tnące, którymi wycinany jest otwór. Następnie wprowadza się zawory odsysające paliwo oraz zawory wyrównujące ciśnienie. Paliwo odsysane jest próżniowo przewodem ssącym do pływakącego zbiornika odbiorczego na powierzchni wody. Jeżeli paliwo jest zbyt gęste (ze względu na rodzaj i niską temperaturę) do zbiornika wprowadza się urządzenia grzewcze, które zwiększając temperaturę paliwa zmniejszają jego lepkość, co umożliwi jego wypompowanie. Po wypompowaniu paliwa zawory są zaślepiane (Michel i in., 2005; NOAA, 2013).

Biorąc pod uwagę pompowanie z wykorzystaniem ROV i technologii *hot-tapping* w celu doboru odpowiedniego sprzętu należy określić warunki, takie jak: głębokość wody, warunki morza i powietrza, stan i konstrukcja wraku, ilość paliwa do wydobycia, typ paliwa i jego właściwości (zwłaszcza lepkość), liczba i rozplanowanie zbiorników we wraku, dostęp do zbiorników, temperaturę wody i prądy (Michel i in., 2005).

W sytuacji niektórych wraków, szczególnie z okresu wojny, niezbędne jest ustalenie czy w zbiornikach znajduje się paliwo. Od przypadku odzyskania paliwa z wraku statku SS Jacob Luckenbach, do oceny występowania paliwa w zbiornikach wraków wykorzystuje się czujnik rozproszenia wstecznego neutronów (*Neutron Backscatter System*). W 2011 roku za pomocą takiego czujnika oszacowano rozmieszczenie paliwa we wraku statku Montebello, który w 1941 roku zatonął i osiadł na głębokości około 274 m. Wyniki badań zostały zatwierdzone przez FOCS (*Federal On-Scene Coordinators*) (NOAA, 2013).

Istnieje duża różnorodność pomp próżniowych, od prostych pomp membranowych do wysoko objętościowych próżniowych pomp rotacyjnych. Bardzo lepkie, ciężkie paliwa czy odłamki mogą zablokować przewód ssący. W takim przypadku, żeby wspomóc efektywność pompowania stosuje się technologie obniżające lepkość. Najpowszechniejszym sposobem jest podgrzewanie z wykorzystaniem zwojów grzewczych i wtłoczenie gorącej wody lub pary. Inną metodą jest wymieszanie z paliwem lekkim, na przykład diesla. Metoda ta była zastosowana w przypadku tankowca Erika. Istnieje również metoda polegająca na dodaniu środków powodujących wzrost lepkości paliwa do takiego poziomu, aby paliwo zachowało się jak półpłynna guma, co obniża ryzyko wycieku (NOAA, 2013; Michel i in., 2005).

Przykłady zastosowań

Metodę pompowania paliwa z wraku z użyciem ROV i narzędzia *hot-tapping* stosowano wielokrotnie w przypadkach zatopionych statków. Przykładem są operacje przeprowadzone przez fińską firmę Alfons Håkans w rejonie Morza Bałtyckiego na wrakach: Park Victory, M/S Estonia, Brita Dan i Coolaroo (www.environment.fi). Poniżej przytoczono przykłady operacji na dwóch wrakach, opisane przez Alfons Håkans (*Estonia and Park Victory cases info 2015-12-08 KR.pdf*).

Przypadek wraku Park Victory

Operację usuwania paliwa z 50-letniego wraku prowadzono 6 lat. Stan wraku był słaby i od kilku lat obserwowano wypływy paliwa w miesiącach letnich. Wpierw usunięto zalegający na wraku i blokujący dostęp do zbiorników węgiel. Zastosowano pompę typu *air lift* firmy Mammouth, operowaną przez ROV przy asyście nurków. Następnie wywiercono 30 otworów i podłączono system pompowania próżniowego firmy TAIFUN. Ze względu na niskie temperatury wody przy dnie, zbiorniki wprawdzie zostały podgrzane ciepłą parą, wodą i sprężonym powietrzem. W sumie operacja zajęła 5 000 godzin dla obu statków, 1 200 godzin dla nurków pod wodą i 1 700 godzin inspekcji ROV. Wydobyto 410 ton ciężkiego paliwa. Całkowity koszt wyniósł 21,3 mln FIM.

Przypadek wraku M/S Estonia

Operacja usuwania paliwa zaczęła się 1996 roku i trwała do 2006 roku. Zastosowano system ROLS, w połączeniu z systemem usuwania paliwa TAIFUN oraz pojazdem ROV. Wykorzystano 4 maszyny wierzące. Wpierw wypompowano paliwo lekkie, a później ciężkie, znajdujące się pod podwójnym dnem. Przeprowadzono mechaniczne oddzielenie wody w separatorze odśrodkowym.

Zalety metody

Metoda pompowania z wykorzystaniem pojazdu ROV i narzędzia *hot-tapping* pozwala na dokładniejsze wydobywanie paliwa ze zbiorników wraku niż sprzęt do pompowania starszej generacji, m.in. dzięki lepszemu dostępowi wizualnemu. Zastosowanie systemu ROV do pompowania paliwa umożliwia szybsze prowadzenie operacji pompowania paliwa oraz pracę na większych głębokościach bez przestojów potrzebnych na zmianę personelu, jak w przypadku pomp obsługiwanych przez nurków. Pozwala również na pracę w trudnych warunkach pogodowych. Metoda znacznie redukuje ryzyko uwolnienia i rozproszenia paliwa podczas pompowania i pozwala na całkowite opróżnienie zbiorników z paliwa (Alcaro L. i inni, 2007; Michel i in., 2005; NOAA, 2013).

Ograniczenia metody

Metoda posiada ograniczenia pod względem ilości wydobytego paliwa i czasu wydobywania. Proces wydobywania paliwa jest powolny. Metoda jest bardzo kosztowna i skomplikowana pod względem logistycznym. Wymaga doświadczonego personelu i elektronicznego sprzętu zaawansowanej technologii oraz dużej platformy wspierającej sprzęt. Wydobyte paliwo wymaga transportu, musi być poddane utylizacji albo procesowi przetwarzania w celu odzysku. Nieuniknione są przestoje pogodowe (Alcaro L. i inni, 2007; Michel i in., 2005; NOAA, 2013).

W przypadku omawianego projektu metoda ta może zostać uznana za użyteczną dla wsparcia rozwiązania problemu. Można uznać, że jest to korzystna środowiskowo, jak również możliwa do szybkiego zastosowania metoda oczyszczania zbiorników wraku z paliw okrętowych. W omawianym projekcie użycie ROV lub nurków do usunięcia paliwa może okazać się niezbędne w sytuacji stwierdzenia obecności paliwa w zbiornikach. Występuje tu szereg problemów, które należy rozwiązać:

- **Potrzeba „wykopania”** (usunięcia gruntu wokół resztek dennej części kadłuba wraku) w celu uzyskania dostępu do zbiorników dennych – ze względu na czasochłonność oraz stopień skomplikowania prac prowadzonych specjalistycznym sprzętem lub przez nurków generuje to ogromne koszty procesu.
- **Wysoki koszt narzędzi** użytych do oczyszczania zbiorników.
- **Duża ilość sił i środków** (ludzi i sprzętu) z najwyższej „półki cenowej” (Tabela 4).
- **Konieczność transportu i utylizacji** odzyskanego paliwa.
- Zaletą są bardzo **niskie i nietrwałe szkody dla środowiska** (jest to najmniej inwazyjna metoda usuwania paliwa z wnętrza wraku).
- **Niewielkie ryzyko wtórnego zanieczyszczenia dna i wody** w okolicy wraku w trakcie wykonywania tej operacji.

Koszty metody

Koszty całkowite wydobywania paliwa ze zbiorników zależą od wielu czynników, takich jak: ilość oleju i jego lepkość, liczba zbiorników, głębokość, warunki wodne i pogodowe, konstrukcja wraku i jego stan oraz koszt oczyszczania dostępu do zbiorników. Istotne są również czynniki logistyczne, takie jak: dostępność zaopatrzenia i sprzętu do przeprowadzenia operacji, zakres niezbędnego zapasu gotowości, czas pracy i przestoju, koszty mobilizacji i demobilizacji, koszt utylizacji usuniętego paliwa (Hassellöv, 2007, Alfons Håkans *Estonia and Park Victory cases info 2015-12-08 KR.pdf*)

W tabelach 4 i 5 zestawiono przykłady operacji z wykorzystaniem technologii *hot-tapping* z obsługą nurków oraz ROV, a także ich koszty.

Tabela 4. **Operacje hot-tapping z obsługą nurków** (na podstawie: NOAA, 2013; McGrath, 2011)

Statek	Rok operacji wydobywania	Cechy charakterystyczne	Wydobyte paliwo	Całkowity koszt	Koszt jednostkowy
Princess Kathleen	2010	Ciężkie paliwo, siarkowodór 40 m głębokości Wrak w słabym stanie (nitowanie)	2 620 baryłek	14 mln \$	5 344 \$/baryłka (125 \$/galon)
USS Mississinewa	2003	Ciężkie paliwo Mała głębokość Zbiorniki łatwo dostępne Niski poziom skomplikowania operacji	42 000 baryłek	4.5 mln \$	107 \$/baryłka (2.55 \$/galon)
Jacob Luckenbach	2002	Ciężkie paliwo 52 m głębokości Bardzo wrażliwe otoczenie	2 450 baryłek	20 mln \$	8 164 \$/baryłka (194 \$/galon)
Erika	1999	Ciężkie paliwo Wrak w dwóch częściach: na 100 i 130 m głębokości, oddalonych 18 km od siebie	11 200 ton	>200mln €	18 857 €/ tona (448,9 € /galon)

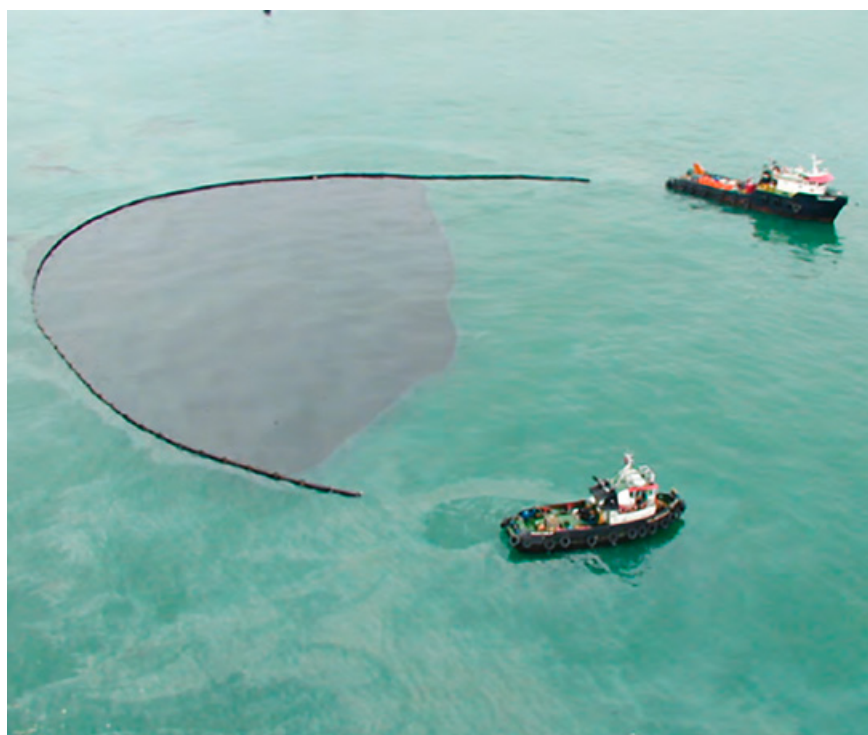
Tabela 5. **Operacje hot-tapping z obsługą ROV** (na podstawie: NOAA, 2013 oraz McGrath, 2011, Alfons Håkans Estonia and Park Victory cases info 2015-12-08 KR.pdf).

Statek	Rok operacji wydobywania	Cechy charakterystyczne	Wydobyte paliwo	Całkowity koszt	Koszt jednostkowy
Prestige	2004	Ciężkie paliwo Głębokość 3650 m	91 000 baryłek	132,6 mln \$	1 460 \$/ baryłka
Park Victory	1994-2000	Ciężkie paliwo Chłodne wody Głębokość 20-40 m	410 m ³ oleju ciężkiego	21.3 FIM (15,5 mln PLN)	9,14 €/litr 9140 €/m ³
M/S Estonia	1996-2006	Ciężkie i lekkie paliwo Głębokość 60-80 m	418 m ³ (w tym 302 m ³ oleju różnego rodzaju)	b.d.	b.d.
Osung No.3 i Yuil No.1	2001	Ciężkie paliwo 69 m głębokości Wrażliwy ekosystem	4 600 baryłek	13 mln \$	2 826 \$/ baryłka

10.3 Technologie dodatkowe, wspomagające usuwanie paliwa

Poza wymienionymi metodami odnoszącymi się do zalegania paliwa na dnie morskim bądź we wrakach, stosuje się również różne technologie pomocnicze, dotyczące zatrzymywania bądź usuwania paliwa dryfującego w toni lub na powierzchni wody. Poniżej zostały przedstawione te, które mogą mieć zastosowanie w opisywanym przypadku wraku Franken i mogą być użyte jako środek zabezpieczający operacje usuwania paliwa z dna oraz ograniczający ewentualny wyciek w przypadku uruchomienia i uwolnienia paliwa do toni podczas operacji usuwania (IMO, 2005).

Rysunek 33. Zapora zastosowana na otwartej wodzie (ITOPF, 2014)



10.3.1 Zapory pływające (*booms*)

Zapory pływające to elastyczne bariery zbudowane z pływaków, fartucha i balastu. Gromadzą one rozlane paliwo na powierzchni wody lub odwracają jego strumień. Mogą być holowane pomiędzy dwoma statkami na otwartym morzu umieszczone przed brzegiem, w celu ochrony określonych obszarów przed zanieczyszczeniem. Istnieją różne typy zapór, różniące się budową i zastosowaniem: elastyczne płaszczowe, elastyczne pneumatyczne, sorpcyjne (www.sebekfireman.host247.pl/straz/wiedza/n18.htm). Paliwo zgromadzone w zaporze może być następnie usunięte przy użyciu zbieraczy (*skimmers*) lub specjalnych pomp próżniowych (*vacuum*) (IMO, 2005; ITOPF, 2014; Marine Pollution Clean-up Manual, 2013; Preston i in., 1997). Przykładem takiej technologii jest zapora kurtynowa firmy ELASTEC (www.elastec.com/turbiditycurtains).

10.3.2 Zbieracze (*skimmers*)

Zbieracze służą do zbierania paliwa rozlanego na powierzchni wody poprzez pompowanie pływającego paliwa lub oddzielanie paliwa od wody. Operacja zależy od grubości warstwy paliwa, lepkości i warunków na morzu. Paliwo zbierane jest do zbiornika, a następnie odprowadzane za pośrednictwem węża do kolektora. Zbieracze najbardziej efektywne są w połączeniu z zaporami pływającymi. Istnieją różne ich typy: przelewowo-pompowy, sorpcyjny, adhezyjny i śrubowy (IMO, 2005; ITOPF, 2014; Marine Pollution Clean-up Manual, 2013; Preston i inni, 1997).

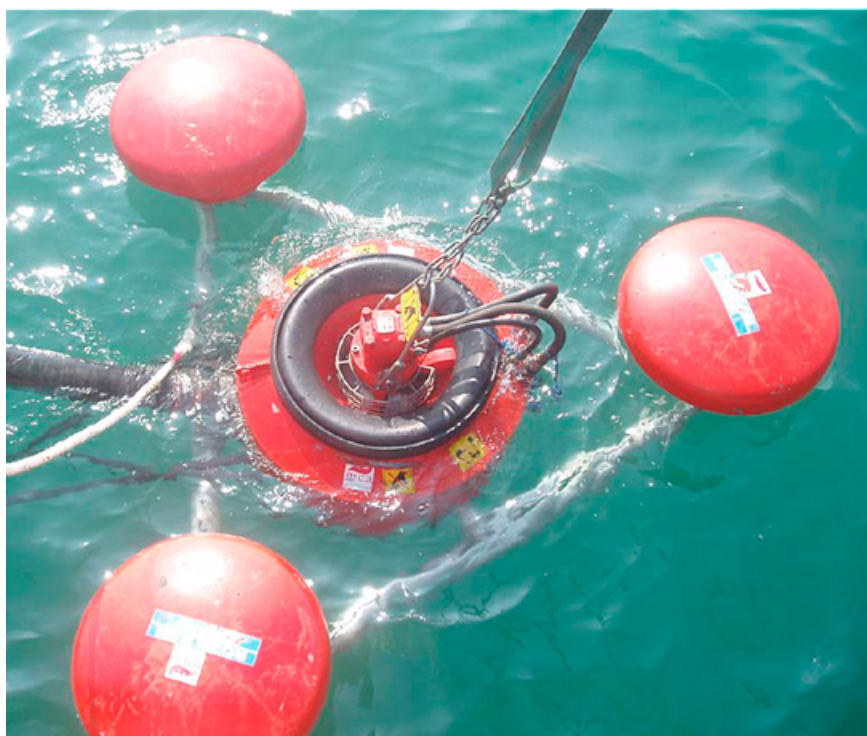
10.3.3 Inne pompy

Pompa EDDY – pompa pogłębiająca, stosowana także do paliw o dużej lepkości, wyspecjalizowana do wydobywania substancji stałych w zawieszynie, piasku i grubszych osadów; traktuje paliwo o wysokiej lepkości jak ciało stałe (www.eddypump.com; IMO, 2011).

OSBORS (*Oil Stop Bottom Oil Recovery System*) firmy American Pollution Control Corporation (AMPOL) – zdalnie sterowana gąsienicowa pogłębiarka zaprojektowana w celu odzyskania paliwa zalegającego na dnie, posiadająca pompę wirową oraz kontrolowaną ruchomą głowicę ssącą (IMO, 2011; NOAA, 2013) (Rysunek 35).

Pompy ręczne – pompy sterowane przez nurków, pozwalające usunąć paliwo pływające na powierzchni wody lub zanurzone w toni wodnej. Pompa zakończona jest głowicą ssącą i połączona ze statkiem długim przewodem, którym transportowane jest usuwane paliwo (Hansen, 2011; IMO, 2011).

Rysunek 34. Zbieracz przelewowy (Marine Pollution Clean-up Manual, 2013)





Rysunek 35. Jednostka OSBORNS do wydobywania paliwa na dnie (NOAA, 2013)

10.3.4 Separatory oleju, wody i osadu

Paliwo zebrane z powierzchni wody może wymagać oddzielenia od wody. W tym celu przeprowadza się sorpcję oleju i wody oraz grawitacyjne oddzielenie osadu w specjalnym systemie dekantacji zainstalowanym na barce. Wodę odprowadza się z powrotem do morza, a oddzielony olej spalany jest na miejscu lub wywożony (Hansen, 2011; Fitzpatrick, M. i inni, 2013).

10.3.5 Pozostałe technologie

Poza wymienionymi technologiami w zależności od zastosowanego rozwiązania oraz warunków panujących na morzu i rodzaju paliwa, w rozlewach olejowych stosuje się również:

- **Środki dyspergujące** (rozpraszające olej rozlany na powierzchni wody).
- **Sorbenty**, czyli substancje lub materiały pochłaniające olej, mogą być naturalne pochodzenia organicznego (np. torf) lub nieorganicznego (np. popiół wulkaniczny, glina).
- **Substancje żelujące** i inne substancje zmieniające stan fizyczny oleju, ułatwiające jego wydobycie.
- **Zbiorniki mobilne i pływające**, oraz zbiorniki holowane i zbiorniki zainstalowane na statku lub barce (pozwalające na tymczasowe przechowanie zanieczyszczenia) (www.epa.gov; Marine Pollution Clean-up Manual, 2013; NOAA, 2013; Walker, 2003).

11 KOSZTY OGÓLNE

Każda z opisanych w literaturze katastrof morskich, w wyniku których należało usunąć pozostałości toksycznego ładunku lub paliwa ze zbiorników statku, jest inna i przed realizacją projektu usuwania skażenia trudno jest precyzyjnie określić, ile będzie on kosztował. Przebieg i koszt operacji może być zupełnie różny od wstępnie planowanego, szczególnie w sytuacji, kiedy usuwane jest paliwo ze starego wraku i brak jest jakiegokolwiek informacji o jego ilości w zbiornikach, brak jest wiedzy o rozmieszczeniu we wraku oraz dostępie do zbiorników. Bardzo ważne jest na jakiej głębokości zalega wrak, jaką technologią i narzędziami dysponujemy, jak daleko od miejsca operacji znajdują się bazy w których mogą zatrzymać się jednostki wykonujące oczyszczanie, a nawet: pora roku, pogoda, temperatura wody i powietrza. Szacowanie kosztów musi uwzględniać szereg elementów, na które nigdy nie będziemy mieli wpływu. W przewodniku amerykańskiej agencji EPA omówiono szczegółowo, jakie elementy należy brać pod uwagę podczas szacowania kosztów planowanej operacji oczyszczania w opracowaniu studium wykonalności (U.S. EPA, 2000). Jako główne elementy kosztów wydzielono: mobilizację i demobilizację, monitoring wraz z analizami i poborem prób, gromadzenie i oddzielanie wody, usuwanie osadu i jego gromadzenie, konstrukcję materiału pokrywającego, zabiegi prowadzone *in situ*, zabiegi *ex-situ*, wywóz i składowanie osadu oraz elementy związane z profesjonalnymi usługami technicznymi, projektowanie, zarządzanie konstrukcją i kontrole instytucjonalne.

11.1 Czynniki wpływające na sposób planowania operacji oczyszczania wraków z paliwa

W publikacji NOAA (2013) dotyczącej oceny ryzyka potencjalnie zanieczyszczających wraków, wymieniono czynniki wpływające na planowanie operacji oszacowania i usunięcia paliwa. Należą do nich:

- typ paliwa i jego właściwości (zwłaszcza lepkość)
- objętość paliwa
- głębokość
- prądy denne
- stan morza (np.: wody osłonięte, morze otwarte)
- pogoda
- narażone zasoby środowiska (wrażliwe siedliska)
- odległość od brzegu, odległość do miejsca mobilizacji, wsparcie logistyczne
- rozplanowanie statku (np.: rozmieszczenie zbiorników, system wentylacyjny, przebieg rurowania, ułożenie przegród zbiorników, ułożenie konstrukcji)
- konstrukcja statku (np.: grubość blach, nitowanie, spawanie)
- wiek statku (data konstrukcji, modernizacje, zatonięcie)
- stan wraku (np.: złamane sekcje, korozja)
- ułożenie wraku (np.: wrak zalega prosto lub do góry dnem)
- czynniki bezpieczeństwa (np.: obecność amunicji, materiały niebezpieczne, porzucony sprzęt rybacki)
- inny ładunek (może blokować dostęp do zbiorników i zajmować przestrzeń)
- zagadnienia historyczne/kulturowe (znaczenie historyczne, np. cmentarzysko wojenne).

W publikacji NOAA (2013) zaprezentowano koszty operacji usuwania paliwa, oszacowane na podstawie przeprowadzanych w przeszłości operacji (stan na 2012 rok). W szacowaniu kosztów wzięto pod uwagę następujące czynniki: rodzaj wód, głębokość, lepkość paliwa, temperaturę wody, stan wraku i charakterystykę statku. Biorąc to pod uwagę, wrak statku Franken można przydzielić do grupy „złożonych” lub „wielce złożonych operacji” (zakres kosztów dla tych grup wynosi odpowiednio: 5-20 mln \$ i 20-100 mln \$).

Tabela 6. **Oszacowanie czynników wpływających na koszty operacji usunięcia paliwa** (stan na rok 2012)

Złożoność operacji	Rodzaj wód	Głębokość (ft.)	Lepkość paliwa	Temperatura wody	Stan wraku	Charakterystyka statku	Odległość od miejsca mobilizacji	Zakres kosztów
		←	←	→	←	→		
Prosta	Wody zakryte	65	Niska	Wyższa	Dobry	Niezbyt stary Optymalna konstrukcja Nieznacznie uszkodzony Pokryty grubą warstwą blachy Niska wrażliwość otoczenia	Lokalna	\$ 1-5 M
Umiarkowana	Problemy z pogodą lub ze stanem morza	65-164	Umiarkowana	Umiarkowana	Przeciętny	Umiarkowanie stary Dobra konstrukcja Umiarkowanie uszkodzony Pokryty grubą warstwą blachy Umiarkowana wrażliwość otoczenia	Regionalna	\$ 2-7 M
Złożona	Otwarte	164-820	Wysoka	Niższa	Słaby	Stary Wiele uszkodzeń struktury Wysoka wrażliwość otoczenia	Duża	\$ 5-20+ M
Wielce złożona	Otwarte	>820	Wysoka	Bardzo niska	Bardzo słaby	Bardzo stary Słaby stan konstrukcji Mocno uszkodzony Pokryty cienką blachą Najwyższa wrażliwość otoczenia	Duża	\$ 20-100+ M

← → Czynniki powiązane ze sobą

Jednym z najwyższych kosztów z jakim należy się liczyć jest **zatrudnienie do przeprowadzenia oczyszczenia ludzi i sprzętu**.

W ratownictwie morskim obowiązują taryfy według klauzuli SCOPIC (*Special Compensation P&I Clause*) (www.lloyds.com) dotyczące kosztów personelu, usług i sprzętu ratowniczego, w tym do oczyszczania wraków z paliwa. Koszty usług i sprzętu (stan na rok 2014) zawiera Tabela 7 i Tabela 8.

Tabela 7. Taryfy dzienne usług personelu

Personel		US \$
Pracownik zarządzający, również odpowiedzialny za komunikację	<i>Office administration, including communications</i>	1,361
Kierownik operacji ratowniczej /oczyszczania	<i>Salvage Master</i>	2,029
Konstruktor okrętowy lub oficer / inżynier specjalista ratownictwa	<i>Naval Architect or Salvage Officer/ Engineer</i>	1,692
Młodszy oficer / inżynier specjalista ratownictwa	<i>Assistant Salvage Officer/Engineer</i>	1,356
Kierownik prac nurkowych	<i>Diving Supervisor</i>	1,356
Wykwalifikowany nurek HSE lub jego odpowiednik za wyjątkiem nurków saturowanych lub nurkujących na mieszankach technicznych	<i>HSE qualified diver or his equivalent but excluding saturation or mixed gas drivers</i>	1,217
Kierownik niższego szczebla prowadzący operację oczyszczania	<i>Salvage Foreman</i>	1,014
Takielarz, mechanik, operator sprzętu	<i>Riggers, Fitters, Equipment Operators</i>	812
Eksperti /doradcy: strażak, chemik, specjalista od rozlewów olejowych	<i>Specialist Advisors – Fire Fighters, Chemicals, Pollution Control</i>	1,361

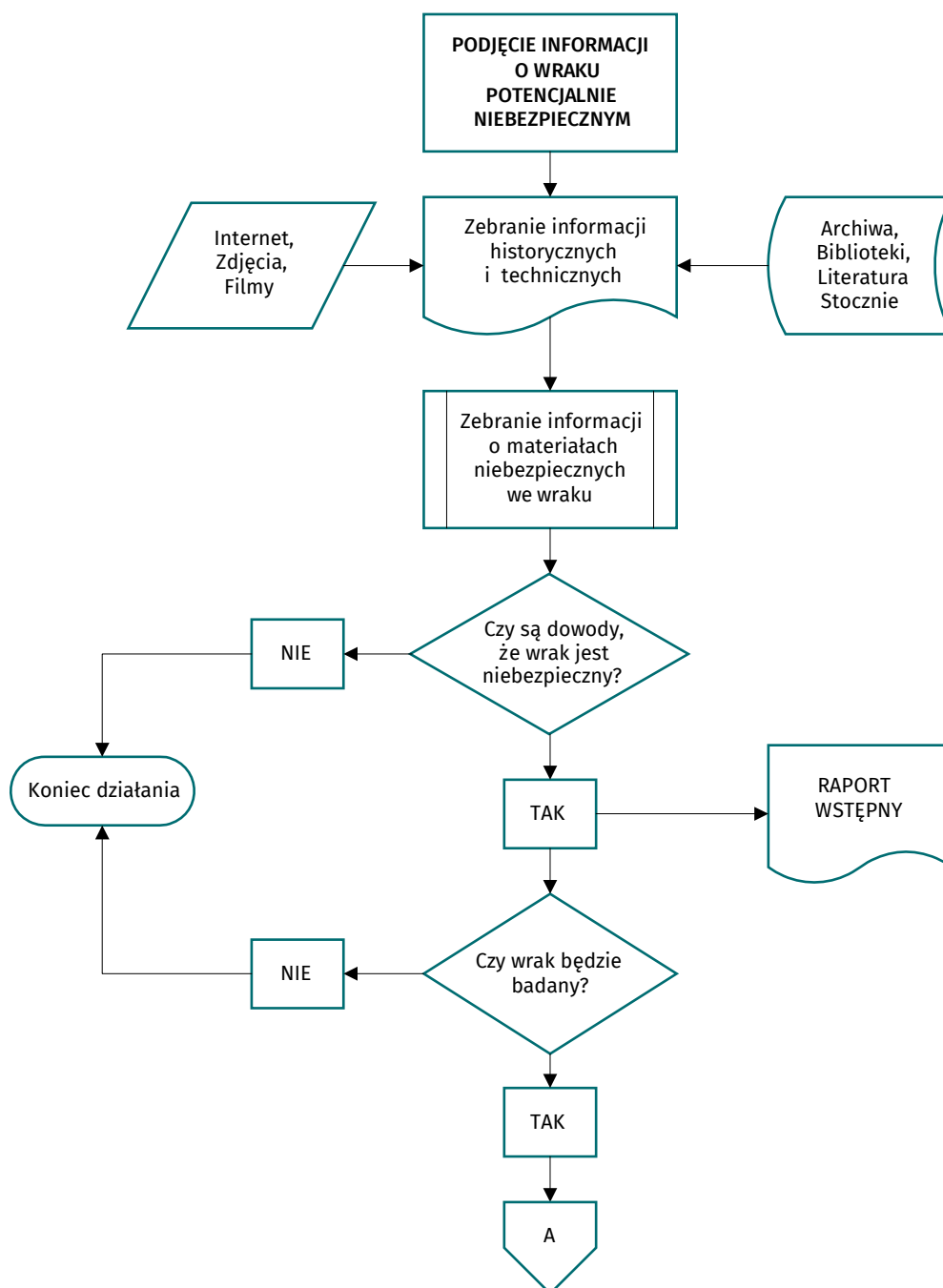
Tabela 8. Koszty przykładowego sprzętu (koszt jednej doby najmu/pracy)

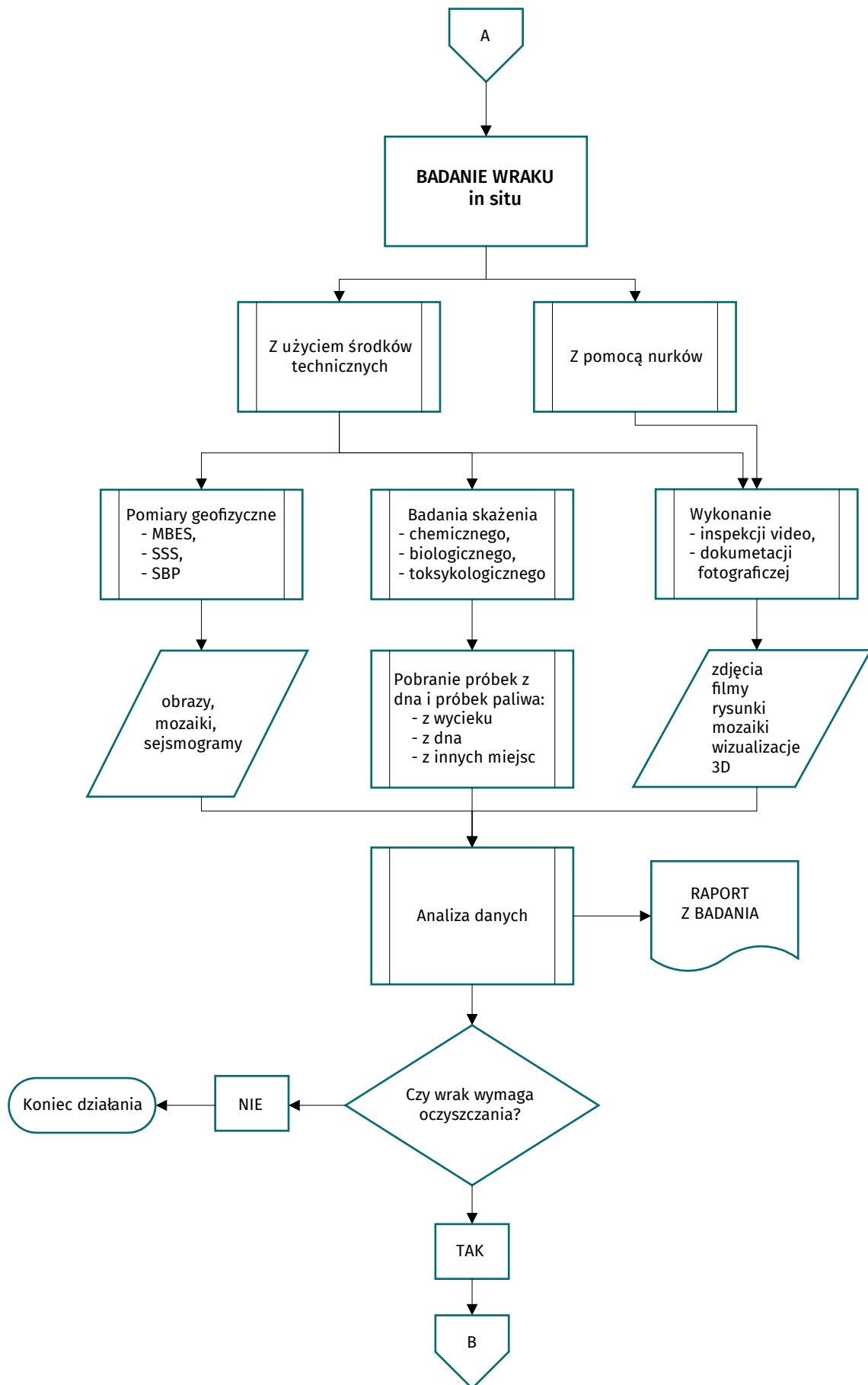
Przenośny sprzęt ratowniczy		US\$
Urządzenie do <i>hot-tappingu</i> razem ze sprzętem wspomagającym	<i>Hot Tap Machine, including support equipment</i>	1,351
Balony powietrzne 8"	<i>Air Lift 8"</i>	405
Rurociągi olejowe (za każde 10 metrów)	<i>Oil Boom, 48", per 10 metres</i>	263
Sprzęt do pompowania paliwa typu Air 3 „Hydraulic 8"	<i>Pumping Equipment Air 3 „Hydraulic 8"</i>	117 1,351
Węże powietrzne 2"	<i>Air Hose 2"</i>	11

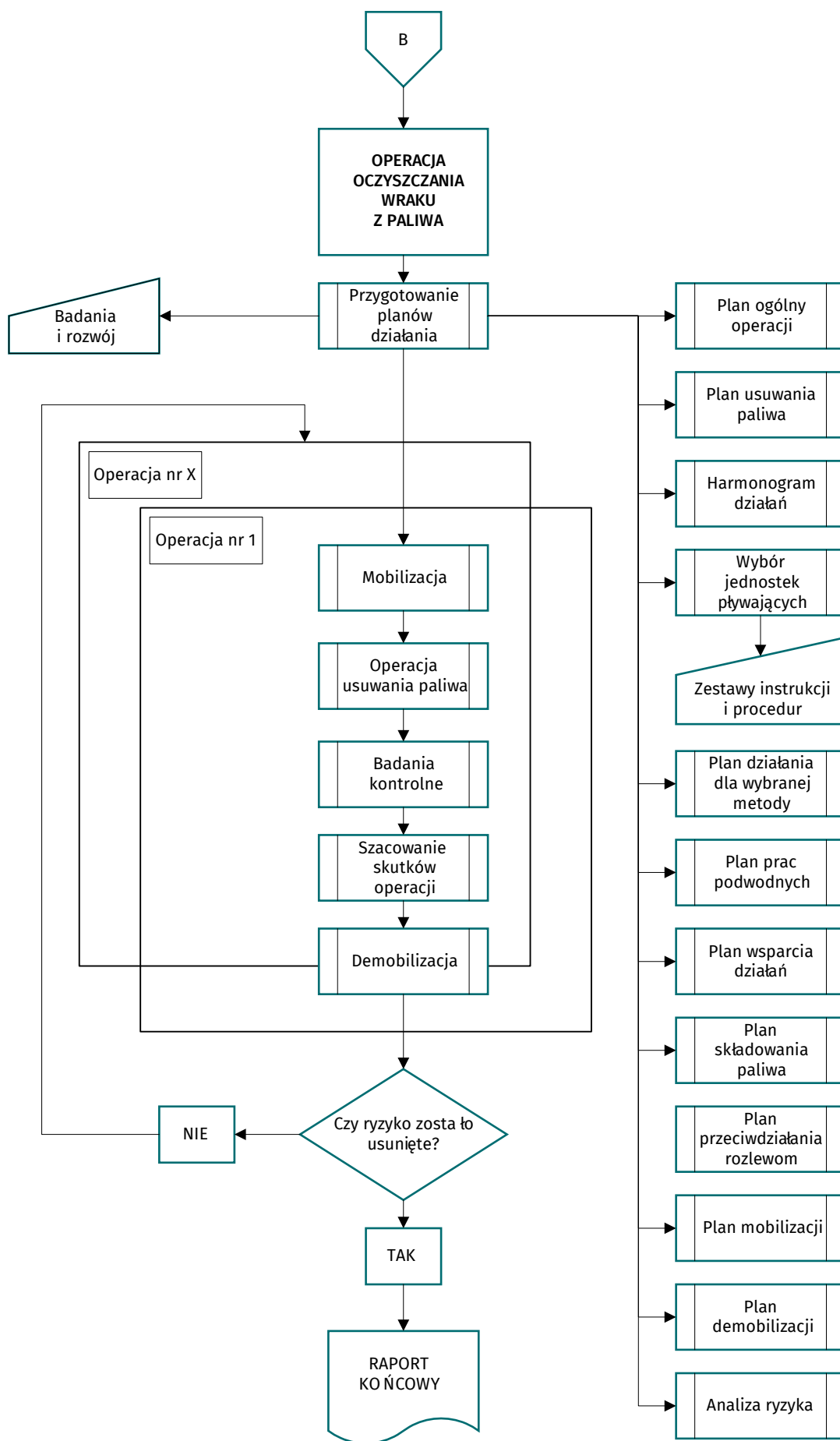


(fot. K. Białatowicz)

11.2 Ogólny schemat postępowania z wrakami potencjalnie niebezpiecznymi







Przedstawiony schemat obejmuje trzy podstawowe etapy działania:

1. podjęcie informacji o istnieniu niebezpiecznego wraku i wypracowanie decyzji czy wrak jest rzeczywiście niebezpieczny;
2. badanie wraku in situ w celu określenia rodzaju i wielkości zagrożenia;
3. przeprowadzenie operacji oczyszczania.

Każdy z tych etapów jest niezbędny dla procesu oceny stanu wraku i środowiska wokół niego, pozyskiwania informacji środowiskowych w miejscu zalegania obiektu badań, podjęcia działań mitygujących ryzyko i polepszających stan środowiska.

Następstwo etapów nie jest przypadkowe, produkt finalny działań w każdym z tych etapów stanowi punkt wyjścia do rozpoczęcia działań w kolejnym. Nie w każdym z badanych przypadków będzie występowała konieczność podejmowania kolejnych działań. W przypadku braku podejrzeń co do zagrożenia określono ścieżki wyjścia z procesu i zakończenia działania.

11.3 Wstępny szacunek kosztów operacji oczyszczenia wraku z paliwa zalegającego w zbiornikach

Niezmiernie trudno jest uzyskać informację dot. szacunkowych kosztów oczyszczania wraku. Wszystkie firmy zajmujące się pracami oczyszczania każdorazowo, indywidualnie szacują koszt przedsięwzięcia w zależności od wielu czynników (wymienionych wcześniej w tym opracowaniu i w omówieniu). Niektóre stosują cennik SCOPIC (*Special Compensation P&I Clause*), inne własne cenniki. Żadna z firm, do których zwróciliśmy się z takim zapytaniem, nie podała nawet przybliżonej wartości takiej usługi.

Z nieoficjalnie pozyskanych informacji można ustalić przybliżoną cenę niektórych modułów takich jak:

Etap I **Rozpoznanie sytuacji i wstępne szacowanie ilości paliwa w zbiornikach:**

- mobilizacja/demobilizacja sprzętu
- przeprowadzenie badań
- przygotowanie raport

Etap II **Operacja oczyszczania:**

- przygotowanie planu działania
- mobilizacja/demobilizacja sprzętu
- operacja oczyszczania
- operacja zabezpieczenia zbiorników po oczyszczeniu
- utylizacja odzyskanego paliwa
- raport

Etap III **Okresowe kontrole stanu środowiska:**

- mobilizacja/demobilizacja
- pomiary
- raport

Wycena operacji oczyszczania zależy od wybranej technologii:

- z użyciem nurków czy też
- z użyciem pojazdów zdalnie sterowanych.

Ważne jest zaplecze logistyczne w tym:

- odległość do portów:
 - bazowania
 - załadunku
 - wyładunku
 - zaopatrzenia
 - schronienia
- Dostępności lokalnych zasobów, takich jak:
 - holowniki
 - barki do odbioru wydobytego paliwa
 - jednostki transportowe z/do portu (transfer załóg i materiałów)
 - rafinerie lub spalarnie

Zasadą jest, że prace oczyszczające prowadzone z użyciem nurków są znacznie droższe (stawka dobową) niż prace z użyciem pojazdów zdalnie sterowanych. Powodem jest konieczność użycia większych, nowoczesnych jednostek dynamicznego pozycjonowania wyposażonych w ogromną ilość systemów podtrzymania życia nurków na dużych głębokościach – szczególnie, kiedy nurkowie pracują w warunkach pełnej saturacji. Cały kompleks komór dekompresyjnych – dzwony nurkowe wraz z podwodnymi sekcjami, zaawansowane systemy zasilania w media (powietrze, wodę, energię) komór roboczych i dzwonów nurkowych – muszą zapewnić nieprzerwane działanie na poziomie 300%. Koszt dobowy utrzymania i opłacenia dużej ekipy nurkowej, nadzoru, dużej ilości personelu obsługującego ekipę nurkową oraz innego personelu pomocniczego, stanowi jedną z największych składowych finalnej ceny za każdą dobę pracy (szacuje się, że może to być od 150 do 200 tys. euro za dobę).

Operacje z użyciem pojazdów zdalnie kierowanych klasy ROV Work Class są tańsze (stawka dobową), gdyż nie wymagają tak dużych jednostek, zaangażowania tak drogiego personelu (choć operatorzy ROV również są bardzo drodzy) oraz tak dużej ilości personelu pomocniczego.

Jednakże sytuacja nie zawsze jest jednoznaczna. Prace z użyciem nurków trwają zwykle znacznie krócej, gdyż dobrze wyszkoleni i oprzyrządowani nurkowie działają znacznie szybciej, efektywniej wykonując prace przygotowawcze. Jednak czas ich pracy pod wodą jest mocno limitowany – nowoczesne pojazdy ROV mogą pracować przez 24 godziny na dobę (następuje tylko zmiana operatorów) i choć pracują wolniej nie męczą się i nie chorują, a co najważniejsze – nie dotyczą ich limity głębokości.

Zakładając, że na statku Franken, do oczyszczenia pozostało 5-6 zbiorników, a do sprawdzenia kolejne 3-4 (w tym najtrudniej dostępne zbiorniki w siłowni), niezbędny czas konieczny do zrealizowania zadania wyniesie około 30 dni dla ekipy nurków i 45 dni dla ekipy z ROV. **Można przyjąć koszt tego działania na poziomie 6 do 8 milionów euro.**

Należy jednak założyć, że jest to wariant optymistyczny, a rzeczywista cena może zawierać się w przedziale 10-20 mln euro.

LITERATURA

Alaska Oil Spill Commission, 1990. Spill: The Wreck of Exxon Valdez, Implications for Safe Marine Transportation. Final report, Anchorage

Alcaro L., Amato E., Cabioch F., Farchi C., Gouriou V., 2007. DEEPP Project. DEvelopment of European Guidelines for Potentially Polluting Shipwrecks, ICRAM, CEDRE

Al-Malack M. H., Abdullah G. M., Al-Amoudi O. S. B., Bukhari A. A., 2014. Stabilization of indigenous Saudi Arabian soils using fuel oil flyash. Journal of King Saud University – Engineering Sciences, Saudi Arabia

Ansary M. A., Noor M. A., Islam M., 2006. Effect of fly ash stabilization on geotechnical properties of Chit-tagong coastal soil, Soil Stress-Strain Behavior: Measurement, Modeling and Analysis, Geotechnical Symposium in Rome, 443-454

Banerjee S. S., Joshi M.V., Jayaram R. V., 2005. Treatment of oil spills using organo-fly ash. Elsevier, Desalination 195 (2006) 32-39, Mumbai, India

Barrett M. J., 2011. Potentially Polluting Shipwrecks. Spatial tools and analysis of WWII shipwrecks. Nicholas School of the Environment, Duke University

Bolątek J. (red.), 2010. Fizyczne, biologiczne i chemiczne badania morskich osadów dennych, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk

Blomqvist M., Cederwall H., Leonardsson K., Rosenberg R., 2006, Bedömningsgrunder för kust och hav. Benthiska evertebrater 2006. Rapport till Naturvårdsverket 2006-03-14: 70 str. (po szwedzku ze streszczeniem w języku angielskim)

Bone B.D., Barnard L.H., Hills C.D., 2004. Guidance on the use of stabilisation/solidification for the treatment of contaminated soil. Environment Agency, Bristol, UK

Castle R.W., Wehrenberg F., Bartlett J., Nuckols J., 1995. Heavy oil spills: out of sight, out of mind. Proceedings of the 1995 International Oil Spill Conference. API Publ. 4620, Washington DC, 565-571

Cederwall H., Elmgren R., 1990, Biological effects of eutrophication in the Baltic Sea, particularly the coastal zone. Ambio 19: 109-112

Chan C-M., 2014. On the reuse of dredged marine sediments: No dumping, reuse please. Int. Conference Advances in Civil, Environmental & Biotechnology, Kuala Lumpur, Malaysia

Colcomb K., Rymell M., Lewis A., Sommerville M., McKeigh A., 2009. Dealing with spilled oils that sink or are submerged at sea. Interspill 2009 – 13th May conference papers, 5.2 Heavy fuel oil versus crude oil aspects

Davin J. J. Jr., Witte J. A. Jr., 1997. Clevelco Underwater Oil Recovery: Removing A 50-Year-Old Threat. International Oil Spill Conference Proceedings: April 1997, Vol. 1997, No. 1, 783-788

Dembska G., Bogdaniuk M., Sapota G., Michałek M., Osowiecki A., Hac B., Rudowski S., Kałas M., Zegarowski Ł., Littwin M., Aftanas B., 2012. Badanie walorów przyrodniczych siedliska dennego w rejonie kłapowiska, wyznaczonego dla Portu Gdynia oraz wpływu zrealizowanych projektów na obszarze Natura 2000, WWIM w Gdańsku, nr 6696

Dembska G., Galer-Tatarowicz K., Pazikowska-Sapota G., Flasińska A., Wojtkiewicz M., Stasiak K., Szczepańska K., 2016, Badania oraz analiza zagrożeń dla środowiska morskiego, jakie stanowi wrak Stuttgart wraz z analizą istniejących technologii utylizacji zagrożenia i możliwości ich wykorzystania. Ocena parametrów fizykochemicznych, WWIM w Gdańsku, nr 7034

Dembska G., Galer-Tatarowicz K. i in., 2018. Badania osadów dennych w ramach projektu „Redukcja negatywnego wpływu wycieków ropy naftowej z wraku Franken”, Instytut Morski w Gdańsku, Gdańsk

- Demirkan M. M., Seagren E.A., Aydilek A. H.**, 2014. Reuse of fly ash-amended petroleum-contaminated soils in highway embankments. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* No.1975, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, 104-111
- Fitzpatrick M., Tebeau P., Hansen, K.A.**, 2013. Development of Bottom Oil Recovery Systems-Final Project Report; USCG: Acquisition Directorate Research & Development Center: New London, CT, USA, 1-35
- Gajewski L. z zesp.**, 1999. Ocena zagrożeń środowiska w rejonie wraku Stuttgart, WW IM nr 5542
- Gajewski L. z zesp.**, 2002, Kompleksowa identyfikacja antropogenicznych obiektów dna morskiego metodami bezinwazyjnymi, WW IM nr 5928
- Geliga E. A., Awg Ismail D.S.**, 2010. Geotechnical properties of fly ash and its application on soft soil stabilization. *UNIMAS E-Journal of Civil Engineering*, 1 (2), Malaysia
- Genovese M., Crisafi F., Denaro R., Cappello S., Russo D., Calogero R., et.al.** 2014. Effective bioremediation strategy for rapid in situ cleanup of anoxic marine sediments in mesocosm oil spill simulation. *Frontiers in Microbiology*. April 2014, volume 5, article 162
- Gdaniec-Pietryka M.**, 2008. Specjacja fizyczna i mobilność analitów z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i polichlorowanych bifenyli na granicy faz osad denny – woda, praca doktorska, PG, Gdańsk
- Głód D.**, 1995, N-alkany (n-C16-33), fenantren, fluoranten i piren w stratyfikowanych osadach Zatoki Gdańskiej, praca doktorska, UG, Gdańsk
- Grządział A.**, 2008, Technika sonaru bocznego w badaniach hydrograficznych, *Przegląd hydrograficzny* Nr 4, Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej, Gdynia
- Gray J. S., Shiu-Sun Wu R., Ying Or Y.**, 2002, Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology Progress Series* 238: 249-272
- Gudelis W. K., Jamieliano J. M.**, 1982, *Geologia Morza Bałtyckiego*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Hac B. z zesp.**, 2015, Badania oraz analiza zagrożeń dla środowiska morskiego, jakie stanowi wrak statku Stuttgart wraz z analizą istniejących technologii utylizacji zagrożenia i możliwości ich wykorzystania. Raport z realizacji etapu I. WW IM w Gdańsku nr 6967
- Hac B. i in.**, 2016, Monitoring skażeń dna morskiego w rejonach zalegania wraków – wrak statku FRANKEN” WW 7050, Gdańsk
- Hansen K., Guidroz L., Hazel B., Johnson Dr. G.W.**, 2011. Designing a Submerged Oil Recovery System, International Oil Spill Conference, Portland
- Hassellöv I. M.**, 2007. Pre-study of shipwreck assessment and remediation. The Alliance For Global Sustainability, ISBN: 978-91-976534-4-2, Göteborg
- HELCOM**, 2002. Environment of The Baltic Sea area 1994-1998, *Baltic Sea Environ. Proceed.* No. 82B, Helsinki Commission
- HELCOM**, 2002. Manual on Co-operation in Response to Marine Pollution within the framework of the Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area (Helsinki Convention), Response Manual, Volume 2, Helsinki
- Himmelheber D. W., Taillefert M., Pennell K. D., Hughes J.B.**, 2008. Spatial and Temporal Evolution of Biogeochemical Processes Following In Situ Capping of Contaminated Sediments. *Environ. Sci. Technol.*, 42(11), Georgia Institute of Technology, 4113-4120
- Hull J.H., Jersak J.M., Kasper C.A.**, 1999. In situ capping of contaminated sediments: Comparing the relative effectiveness of sand versus clay mineral-based sediment caps, *Proceeding of the 1999 Conference on Hazardous Waste Research*, St. Louis, MO
- IMG**, 1999. Ocena zagrożeń środowiska w rejonie wraku Stuttgart (raport wstępny), Instytut Morski w Gdańsku, Gdańsk
- IMO**, 2005, *Manual on Oil Pollution: Section IV – Combating oil spills*

- IMO**, 2011, Annex: Operational guidelines on sunken and submerged oil assessment and removal techniques
- ITRC (The Interstate Technology & Regulatory Council)**, 2014. Contaminated Sediments Remediation. Remedy Selection for Contaminated Sediments. Guidance Document, USA
- I TOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited)**, 2014. Use of booms in oil pollution response. Technical information paper
- I TOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited)**, 2014. Use of skimmers in oil pollution response. Technical information paper
- Janas U.**, 1998, Wpływ niedoboru tlenu i obecności siarkowodoru na makrozoobentos Zatoki Gdańskiej. Praca doktorska wykonana pod kierunkiem A. Szaniawskiej, maszynopis Instytut Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego, Gdynia: 154
- Jonsson P., & Kankaanpää H.**, 2003. Organic contaminants. In: Perttilä, M. (Ed.), Contaminants in the Baltic Sea Sediments, Results of the 1993 HELCOM/ICES Baltic Sea Sediment Baseline Study, p 45-57. No. 50 2003, MERI, Report Series of the Finnish Institute of Marine Research. ISSN 1238-5328, ISBN 951-53-2557-9.
- Karlson K., Rosenberg R. Bonsdorff E.**, 2002, Temporal and spatial large-scale effects of eutrophication and oxygen efficiency on benthic fauna in Scandinavian and Baltic waters – a review. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 40: 427-489
- Konat J., Kowalewska G.**, 2001. Polychlorinated biphenyls (PCB's) in sediments of the southern Baltic Sea – trends and fate. *The Science of the Total Environment*, 280, 1-15
- Kowalewska G., Konat J.**, 1997. Distribution of polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of the southern Baltic Sea., *Oceanologia*, 1, 83-87
- Kramarska R.**, 1995, Osady powierzchni dna, [w:] Mojski J. E. (red.), Atlas geologiczny Południowego Bałtyku. Tab. XXV. Państwowy Instytut Geologiczny, Sopot-Warszawa
- Kramarska R.**, 1995, Osady na głębokości 1 m poniżej powierzchni dna, [w:] Mojski J. E. (red.), Atlas geologiczny Południowego Bałtyku. Tab. XXI. Państwowy Instytut Geologiczny, Sopot-Warszawa
- Kramarska R.**, 2006, Paleogen i neogen Południowego Bałtyku i jego wybrzeża, Praca doktorska, archiwum PIG Oddział Geologii morza, Gdańsk
- Lahtinen P., Forsman J., Kiukkonen P., Kreft-Burman K., Niutanen V.**, 2014. Mass stabilization as a method of treatment of contaminated sediments. Proceedings of the South Baltic Conference on Dredged Materials in Dike Construction, Lahti, Finland
- Mackiewicz S. M., Ferguson E.G.**, 2005. Stabilization of soil with self-cementing coal ashes. 2005 World of Coal Ash (WOCA), Lexington, Kentucky, USA
- Magar V.S., Chadwick D.B., Bridges T.S., Fuchsman P.C., Conder J.M., Dekker T.J., Steevens J.A., Gustavson K.E., Mills M.A.**, 2009. Technical Guide: Monitored Natural Recovery at Contaminated Sediment Sites, Environmental Security Technology Certification Program (ESTCP), Project ER-0622, 276
- Magar V.S., Wenning R. J.**, 2006. The Role of Monitored Natural Recovery in Sediment Remediation, Integrated Environmental Assessment and Management, 66-74
- Marine Pollution Clean-up Manual**, 2013. Maritime and Coastguard Agency, UK
- Maritime and Coastguard Agency**, 2009. RP595 Sunken and Submerged oils – behaviour and response.
- McGrath G.G.**, 2011. Utilizing the OSLTF for Response to Spills from Sunken Shipwrecks, International Oil Spill Conference Proceedings Mar 2011, Vol. 2011, No. 1 (March 2011), abs 354
- Michel J., Etkin D. S., Gilbert T., Urban R., Waldron J., Blocksidge C. T.**, 2005. Potentially Polluting Wrecks in Marine Waters. International Oil Spill Conference (IOSC)
- Myślińska E.**, 2001, Laboratoryjne badania gruntów. Wydawnictwo PWN, Warszawa
- National Research Council (NRC)**, 1997. Contaminated Sediments in Ports and Waterways, National Academy Press, Washington DC, USA, www.nap.edu

- Niemirycz E., Sapota G.**, 2010. Pestycydy i polichlorowane bifenyle [w:] Bolątek J. (red.) Fizyczne, biologiczne i chemiczne badania morskich osadów dennych, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk
- NRC**, 1999. Spills of nonfloating oils – Risk and response, National Academy Press, Washington DC, USA, 75, www.nap.edu
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)**, 2013. Risk assessment for potentially polluting wrecks in U.S. waters, USA
- Okołotowicz G.**, 1985, Biomasa makrozoobentosu polskiej strefy Bałtyku wskaźnikiem jej zanieczyszczenia. Biuletyn Morskiego Instytutu Rybackiego 5-6: 27-39
- Osadczuk A.**, 2007, Geofizyczne metody badań osadów dennych. Uniwersytet Szczeciński, Instytut Nauk o Morzu, Zakład Geomorfologii Morskiej, *Studia Limnologica et Telmatologica*
- Osowiecki A., Łysiak-Pastuszek E., Piątkowska Z.**, 2008, Testing biotic indices for marine zoobenthos quality assessment in the Polish sector of the Baltic Sea. *Journal of Marine Systems* 74: 124-132
- Osowiecki A., Krzywiński W., Nowicki W., Kruk-Dowgiątko L., Błęńska M., Brzeska P., Michatek-Pogorzelska M., Dubiński M., Łysiak-Pastuszek E., Góralski J., Chojnacki W., Marcinkow A.**, 2009a, Opracowanie metodyki badania i klasyfikacji elementów biologicznych w procedurze oceny stanu ekologicznego jednolitych części morskich wód przejściowych i przybrzeżnych wraz z udziałem w europejskim ćwiczeniu interkalibracyjnym. Praca zrealizowana na zamówienie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. WW IM w Gdańsku Nr 6465
- Osowiecki A., Błęńska M., Michatek-Pogorzelska M.**, 2009b., Ocena jakości ekologicznej wyrobisk i rejonu ich lokalizacji w Zatoce Puckiej na podstawie zoobentosu [w:] Program rekultywacji wyrobisk w Zatoce Puckiej Przyrodnicze podstawy i uwarunkowania (red. Kruk-Dowgiątko L. i Opiota R.), 209-231
- Ostrowski J.**, 1985, Wpływ zanieczyszczeń na zoobentos Zatoki Gdańskiej ze szczególnym uwzględnieniem określenia gatunków wskaźnikowych. *Stud. i Mat. MIR* 26/A
- Parker H., Moller T.**, 2008. Sunken oil and the removal of oil from sunken wrecks. Proceedings of the 2008 International Oil Spill Conference, May 4-8 2008, Savannah, Georgia, USA
- Pazdro K.**, 2004. Persistent Organic Pollutants in sediments from the Gulf of Gdansk, *Ann Set Environ. Prot.*, 6, 63-70
- Preston G. L., Gillett R. D., McCoy M.A., Murrell P.A., Lovell E.R.**, 1997. Ship groundings in the Pacific Islands region. Issues and Guidelines. South Pacific Regional Environment Programme, Apia, Samoa
- Radermacher M.**, Bioremediation of Marine Oil Spills, <http://home.engineering.iastate.edu/~tge/ce421-521/matt-r.pdf>
- Renholds J.**, 1998. In situ treatment of contaminated sediments. Technology Innovation Office, Office of Solid Waste and Emergency Response, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. December. Dostępne na stronie: <https://clu-in.org/download/studentpapers/renhold.pdf>
- Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 16.04.2002 roku w sprawie rodzaju oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony (Dz. U. Nr 55, poz. 498)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz. U. 2015, poz. 796);
- Rymell M.**, 2009. RP595 Sunken and Submerged Oils – Behaviour and Response, BMT Cordah Limited, prepared for Maritime and Coastguard Agency, UK
- Sapota G., Dembska G., Galer-Tatarowicz K., Aftanas B.**, 2013. Analiza aktów prawnych i rozporządzeń dotyczących postępowania z osadami czerpalnymi w basenie Morza Bałtyckiego, WWIM w Gdańsku nr 6820
- Schifano V.**, 2015. Binder stabilization with beneficial use of CCR in closure – remediation / corrective actions of coal ash impoundments. 2015 World of Coal Ash Conference, Nashville, US

- Srivastava L. P., Ramudu P. B., Prasad A.**, 2009. Stabilization of engine oil contaminated soil using fly ash, Indian Geotechnical Conference, India
- Swannell R. P. J., Lee K., McDonagh M.**, 1996. Field Evaluations of Marine Oil Spill Bioremediation. Microbiological Reviews, Vol. 60, No. 2, June, 342-365
- Szczepańska T., Uścińowicz Sz.**, 1994. Atlas geochemiczny południowego Bałtyku, 1:500 000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa
- Tetra Tech, Inc. (Tetra Tech)**, 2013. Feasibility Study for the Remediation of Sediments Adjacent to Lockheed Martin Middle River Complex, Middle River, Maryland
- Tomica I., Karaś P.**, 2018. Franken – ostatnie dni okrętu Kriegsmarine na wodach Zatoki Gdańskiej
- The Energy Resource Institute**, 2014. Bioremediation: Cost-effective Alternative to Clean Environmental Messes, Environment Information System Centre, <http://www.envismadrasuniv.org/pdf/Bioremediation.pdf>
- U.S. Army Corps of Engineers (U.S. ACE)**, 1998. Guidance for Subaqueous Dredged Material Capping Technical Report DOER-1, USA
- U.S. ACE**, 2008. Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments, ERDC/EL TR-08-29, USA
- U.S. Congress, Office of Technology Assessment (OTA)**, 1991. Bioremediation for Marine Oil Spills – Background Paper, OTA-BP-O-70, Washington
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA)**, 1998. Contaminated Sediments Program. Sediment Assessment and Remediation Report. Guidance for In-Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediments. EPA 905-B96-004, USA
- U.S. EPA**, 2000. A Guide to Developing and Documenting Cost Estimates During the Feasibility Study, USA.
- U.S. EPA**, 2004. Presenter's Manual for: Remediation of Contaminated Sediments, Office of Solid Waste and Emergency Response, USA
- U.S. EPA**, 2005. Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites, EPA-540-R-05-012, USA
- U.S. Navy Salvage Report, **2004. USS Mississinewa oil removal operations. Naval Sea Systems Command**, Washington, D.C.
- Uścińowicz Sz.**, 2008. Rozpoznanie i wizualizacja budowy geologicznej Zatoki Gdańskiej dla potrzeb gospodarowania zasobami naturalnymi. Centr. Arch. Geol. Państwowy Instytut Geologiczny, Oddz. Geologii Morza, Gdańsk
- Uścińowicz Sz., (red.)**, 2011. Geochemia osadów powierzchniowych Morza Bałtyckiego, Ministerstwo Środowiska, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa
- Uścińowicz Sz., Zachowicz J.**, 1994. Changes of the Coastal Zones – Polish Coast 1994, Przegląd Geologiczny Vol.43, No 1 (1995)
- Uścińowicz Sz., Zachowicz J., Miotk-Szpiganowicz G., Witkowski A.**, 2007. Southern Baltic sea-level oscillations: New radiocarbon, pollen and diatom proof of the Puck Lagoon. [W:] J. Harff, W.W.Hay, D.M. Tetzlaff (red.), Coastline changes: Interrelation of climate and geological processes Geological Society of America, Special Paper, 426:1-16.
- Viduka A. J.**, 2012. Unit 10. Intrusive Techniques in Underwater Archaeology, Training Manual for the UNESCO Foundation Course on the Protection and Management of Underwater Cultural Heritage in Asia and the Pacific, Bangkok
- Walker A. H., Michel J., Benggio B., McKetrick B., Scholz D., Boyd J., William W.**, 2003, Selection Guide for Oil Spill Applied Technologies. Volume I – Decision Making, Scientific and Environmental Associates, USA
- Wittenberg R. E., Robb Ch. A., Luke G. R.**, 2013. In Situ Stabilization/Solidification (ISS) in the Power Industry and Applications for Coal Combustion Products (CCP). 2013 World of Coal Ash (WOCA) Conference, USA

Adresy internetowe:

www.concreteconstruction.net – Fly ash – Concrete Construction

www.cpeo.org Central for Public Environmental Oversight

www.ecy.wa.gov/programs/spills/incidents/catala/factsheet_092007.pdf

www.eddypump.com

www.elastec.com

www.environment.fi

<https://frtr.gov/matrix2/section4/4-2.html> Federal Remediation Technologies Roundtable

www.flyash.info

www.google.pl/patents/US3500934

www.pneuma.it

www.spalanie.pwr.wroc.pl/badania/witryfikacja/popioły.htm

www.texasbeyondhistory.net/belle/excavations.html

www.worldofcoalash.org



CZERWIEC 2018

Raport wydany w ramach projektu „Redukcja negatywnego wpływu wycieków paliwa z wraku tankowca Franken” finansowanego przez Baltic Sea Conservation Foundation

