

ZABEZPIECZENIE PRAC ZWIĄZANYCH Z WYDOBYCIEM I UTYLIZACJĄ ZATOPIONEJ BRONI CHEMICZNEJ

PROTECTION OF WORKS CONNECTED WITH EXTRACTION AND DESTRUCTING DUMPED CHEMICAL WEAPONS

Jacek FABISIAK

j.fabisiak@amw.gdynia.pl

Akademia Marynarki Wojennej
Wydział Dowodzenia i Operacji Morskich
Instytut Bezpieczeństwa Narodowego

STRESZCZENIE

Ocena możliwych skutków obecności broni chemicznej w Morzu Bałtyckim generuje różne poglądy na problem postępowania z zatopioną bronią chemiczną. Do niedawna większość ekspertów twierdziła, że nie ma potrzeby wydobywania broni chemicznej z morza i przewożenia jej na ląd w celu zniszczenia. Skłaniano się do pozostawienia jej w morzu i monitorowania skutków jej oddziaływania na elementy ekosystemu. Przeprowadzone w ostatnich latach badania wykazały obecność bojowych środków trujących w osadach dennych, wodach porowych, a także negatywny wpływ trucizn i ich produktów rozkładu na organizmy bytujące w rejonach zatopienia broni chemicznej. Obecnie wiadomo, że zatopiona broń stanowi zagrożenie nie tylko w przypadku jej wyłowienia przez rybaków lub wyrzucenia na plażę, ale także jest zagrożeniem dla środowiska, w którym ją zdeponowano. Fakt ten spowodował, że w ostatnim czasie zaczęto zastanawiać się, czy decyzja o pozostawieniu broni chemicznej na dnie morza była słuszna. Wiele państw mających podobny problem już wiele lat temu zdecydowało się na oczyszczanie swoich wód z zatopionej w nich broni chemicznej. Być może i państwa nadbałtyckie powinny zrewidować swój pogląd. Postęp techniczny obserwowany w ostatnich latach, zarówno w dziedzinie metod poszukiwania zatopionych obiektów oraz nowych technik i technologii bezpiecznej dla ludzi i środowiska utylizacji trucizn sprawia, że operacje wydobywania niebezpiecznych obiektów i ich niszczenia nie stanowią już takiego zagrożenia jak miało to miejsce kilkadziesiąt lat temu. W artykule zaprezentowano koncepcję zabezpieczenia prac związanych z bezpiecznym dla ludzi i środowiska systemem niszczenia zatopionej w Bałtyku broni chemicznej.

SUMMARY

An assessment of the possible effects of the presence of chemical weapons in the Baltic Sea generates different views on the problem of dumped chemical munitions. Until recently, most experts have argued that there is no need to extract chemical weapons from the sea and transport them ashore for destruction. They decided to leave them in the sea and monitor their effects on elements of the marine ecosystem. Studies carried out in recent years have shown the presence of war toxic agents in bottom sediments, pore waters, and also showed the negative impact of poisons and their degradation products on organisms living in areas of chemical weapons dumping. At present, it is already known that a dumped chemical munition is a threat not only when it is fished by fishermen or thrown to the beach, but it is also a threat to the environment in which it was dumped. This fact has caused that in recent times they began to wonder whether the decision to leave chemical weapons

on the bottom of the sea was right. Many countries with a similar problem (USA, Canada, Japan, Italy) have already decided to cleaning their waters from dumped chemical weapons several years ago. Perhaps the Baltic states should revise their views. Technical progress observed in recent years, both in the field of methods of searching for objects dumped in the sea and new techniques and technologies safe for humans and the environment of utilization of poisons, makes the operations of extracting dangerous objects and destroying them no longer as dangerous as it was several decades ago. The article presents the concept of protection of works regarding destruction of chemical weapons dumped in the Baltic Sea.

Słowa kluczowe: broń chemiczna, identyfikacja, Morze Bałtyckie, niszczenie, wydobycie
Key words: chemical munitions, identification, the Baltic Sea, destruction, extraction

WSTĘP

Obecność broni chemicznej (amunicja chemiczna i pojemniki zawierające bojowe środki chemiczne) w Morzu Bałtyckim stała się przyczyną wielu uciążliwości, do których zaliczyć można: ograniczenia dla podwodnych prac technicznych, zagrożenia dla górnictwa morskiego i eksploracji dna, ograniczenia dla rybołówstwa poprzez wprowadzenie zakazu połowów w wielu rejonach Bałtyku oraz ograniczając ich głębokość, a także co jest najczęściej zauważane, powodowanie skażeń ludzi, kutrów oraz plaż.

Prowadzone od wielu lat badania naukowe wykazują, że obecne zagrożenia występują raczej lokalnie, głównie w rejonach zalegania broni chemicznej (BCh). Niestety te same badania pokazują także, że amunicja oraz pojemniki z bojowymi środkami trującymi (BST) są tak mocno skorodowane, że w niedługim czasie może nastąpić masowe uwalnianie trujących substancji chemicznych do środowiska, które pociągnie za sobą już nie tylko lokalne, ale na znacznie większych obszarach i w zdecydowanie większej skali zagrożenia dla bałtyckiej flory i fauny (Bełdowski i in., 2014). Formułowana jest nawet teza, że możliwa jest katastrofa ekologiczna w tych rejonach (Witkiewicz, 1998).

Także hipoteza, że bojowe środki trujące stopniowo uwalniając się do środowiska ulegną w nim szybkiemu rozkładowi do produktów nietoksycznych nie sprawdziła w stosunku do wszystkich rodzajów zatopionych bojowych środków trujących. Wolniejszy od przewidywanego rozkład zatopionych trucizn powoduje wydłużenie czasu toksycznego ich oddziaływania na organizmy bytujące w pobliżu składowisk broni chemicznej, a w konsekwencji stanowi zagrożenie dla zdrowia i życia biocenozy morskiej. Badania organizmów morskich zasiedlających te rejony wykazały u niektórych gatunków zmiany genetyczne, których podłożem mogą być bojowe środki trujące. Dodatkowo analiza osadów dennych i wód porowych w tych rejonach wykazuje podwyższoną zawartość arsenu,

który kumulując się w organizmach morskich stanowi dla nich zagrożenie, a w przypadku nagromadzenia się go w rybach jest także istotnym zagrożeniem dla zdrowia ich konsumentów (Bełdowski i in., 2016).

Następstwem przeprowadzonych ocen pod kątem możliwych skutków uwolnienia BST do środowiska jest fakt, iż coraz większa rzesza naukowców, przedsiębiorców oraz użytkowników morza, którzy do niedawna byli zwolennikami pozostawienia na dnie zatopionej broni chemicznej, skłania się do twierdzenia, iż wydobycie i zniszczenie zatopionej broni chemicznej jest jedyną metodą wyeliminowania zagrożeń stwarzanych dla środowiska przez zatopione w nim trucizny.

Takich wątpliwości nie mają już takie państwa jak USA, Japonia czy Włochy, które już kilkanaście lat temu podjęły działania mające na celu oczyszczanie swoich akwenów z broni chemicznej, nie czekając na to co może wydarzyć się w przyszłości. Postęp technologiczny sprawił, że wykorzystywane metody są dzisiaj na tyle bezpieczne dla środowiska i ludzi, że nie stanowią już przeszkody, którą było kilkanaście lat temu ryzyko wywołania większych skażeń podczas operacji wydobycia. Dlatego też może nadszedł już czas by także państwa nadbałtyckie podjęły stosowne kroki w kierunku wydobycia i zniszczenia broni chemicznej zatopionej w Morzu Bałtyckim.

W artykule przedstawiono oraz dokonano charakterystyki koniecznych do podjęcia działań technicznych niezbędnych do bezpiecznego wydobycia i zniszczenia zatopionej w Morzu Bałtyckim broni chemicznej.

1. TECHNICZNE ASPEKTY WYDOBYCIA BRONI CHEMICZNEJ

Za rozpoczęciem prac zmierzających do oczyszczenia Bałtyku z zatopionej w nim broni chemicznej przemawia fakt, iż z roku na rok akwen ten jest coraz bardziej intensywnie wykorzystywany gospodarczo. Zwiększa się zakres prac wydobywczych, układa nowe gazociągi i linie energetyczne, planowane są budowy nowych farm wiatrowych. Działania te stwarzają ryzyko naruszenia zalegającej tam broni chemicznej, jej rozszczelnienia oraz uwolnienia trucizn, a w konsekwencji doprowadzenie do poważnego skażenia środowiska. Jak już wspomniano we wstępie, zalegająca na dnie broń chemiczna stanowi ograniczenie działalności gospodarczej na dnie akwenu. Przepisy prawne nakazują bowiem, że jeśli w trakcie prac podwodnych natrafi się na obiekty niebezpieczne, wówczas należy bezwzględnie wstrzymać je do czasu usunięcia zagrożenia. Można tego dokonać poprzez zniszczenie niebezpiecznego obiektu lub przesunięcie go na taką odległość, by nie stanowił zagrożenia dla inwestycji, zarówno w trakcie jej budowy, eksploatacji i przyszłej likwidacji.

Na dzień dzisiejszy nie ma wypracowanych żadnych procedur, które regulowałyby te kwestie w odniesieniu do zatopionej broni chemicznej. Stosowane techniki i technologie podwodne wykorzystywane obecnie w odniesieniu do innych przeszkód podwodnych nie koniecznie mogą okazać się odpowiednie dla obiektów militarnych, szczególnie broni chemicznej, zatopionych po wojnie. Wiąże się to z faktem, iż amunicja chemiczna oraz pojemniki wypełnione bojowymi środkami trującymi obecnie są mocno skorodowane i każda próba ich podniesienia lub przesunięcia z wykorzystaniem powszechnie stosowanych technologii może spowodować uszkodzenie obiektów i uwolnienie BST do środowiska powodując jego skażenie. Dlatego też nieuchronnym, wcześniej czy później, będzie konieczność stworzenia systemu, który w takich sytuacjach umożliwi bezpieczną likwidację zagrożenia, co w przypadku broni chemicznej wiązać się będzie jedynie z jej wydobyciem, a następnie zniszczeniem.

W latach 90, wiele firm oferowało wydobycie zatopionej broni chemicznej, jednak przeprowadzenie takiej operacji wiązało się z bardzo dużymi kosztami (około 8 mld dolarów) oraz z koniecznością zniszczenia truczyn na lądzie. Rozważano także możliwość pokrycia składowisk warstwą betonu albo polimeru, a w przypadku wraków wypełnionych bronią zaproponowano zamianę znajdującej się w nich wody na roztwór substancji, która po spolimeryzowaniu spowoduje, że kadłub z wypełnieniem stanie się monolitem, który zapobiegnie niszczącemu działaniu wody i uniemożliwi wydostawanie się środków trujących do środowiska. Także i te metody zabezpieczania środowiska nie byłyby technicznie łatwe do wykonania, bardzo kosztowne oraz nie dawały całkowitej pewności ich skuteczności.

Na podstawie doświadczeń państw zajmujących się wydobyciem i niszczeniem zatopionej BCh można stwierdzić, że opracowując plan likwidacji zatopionej broni należy pod uwagę wziąć sporą liczbę czynników, które będą stanowiły zagrożenia i utrudnienia podczas prac wydobywczych i likwidacyjnych. Należą do nich m.in.:

- zatopiona po wojnie broń chemiczna jest w większości (zależy to od warunków środowiskowych dna, na którym zalega) w stanie zaawansowanego skorodowania – dlatego należy wykorzystać taką metodę jej podejmowania, aby nie spowodować jej rozpadu;
- broń chemiczna często była topiona razem z bronią konwencjonalną – należy zatem opracować i wprowadzić podwodne techniki rozpoznawania rodzaju broni;

- zgodnie z dokumentacją, amunicja chemiczna przed zatopieniem była pozbawiana zapalników, jednak należy wziąć pod uwagę ryzyko, że zatapiano także amunicję, której nie rozbrojono;
- amunicja konwencjonalna, w odróżnieniu od chemicznej, zatapiana była wraz z zapalnikami, stąd należy liczyć się z możliwym wybuchem podczas prac w rejonach, gdzie zatopiono mieszaninę broni chemicznej i konwencjonalnej, stąd podczas operacji wydobywania i niszczenia niezbędna jest obecność sapers, najlepiej nurka sapers;
- często broń chemiczną zatapiano na barkach, dlatego też należy przewidzieć utrudnienia podczas prac wydobywczych i likwidacyjnych, powodowane przez wraki, a także inne materiały z nimi związane, np. sieci widma;
- należy liczyć się z różnorodnością środków chemicznych wypełniających amunicję. Podczas II wojny światowej wprowadzono na uzbrojenie ponad 70 typów mieszanin chemicznych (Bunnet, 1995), dlatego należy przygotować uniwersalną metodę niszczenia wszystkich rodzajów bojowych środków trujących;
- można zazwyczaj rozróżnić amunicję chemiczną od konwencjonalnej za pomocą prześwietlenia rentgenowskiego. Jednak uzyskanie precyzyjnych informacji o składzie ładunku chemicznego jest bardziej skomplikowane i wymaga zastosowania bardzo nowoczesnych i specjalistycznych technik. Należy także zaznaczyć, że ekspertyzę dotyczącą składu, a następne operacje ze starą amunicją mogą obecnie zapewnić nieliczne zespoły na świecie, chociaż jest to dziedzina rozwijająca się.

Wiele państw w celu niszczenia broni chemicznej, głównie zakopanej na ich terytorium, buduje specjalnie do tego przeznaczone instalacje, gdzie w sposób bezpieczny dokonuje się utylizacji starej broni chemicznej. W związku z tym, że broń chemiczna bardzo często zakopywana była w miejscach często od siebie oddalonych, najbezpieczniejszą wydaje się być budowa kilku takich instalacji, by ze względów bezpieczeństwa unikać długiego transportu, prowadzenia wielu operacji załadunkowych i wyładunkowych itp. Jednak budowa instalacji jest dość kosztownym przedsięwzięciem, dlatego też, ze względów czysto ekonomicznych, kraje zwykle budują jeden centralny zakład likwidacji i ewentualnie kilka wyspecjalizowanych w niszczeniu mniej toksycznych bojowych środków trujących. Obecnie wiele państw, także Polska, próbuje wprowadzić

mobilne instalacje do niszczenia starej broni chemicznej, które wyeliminują konieczność transportu broni chemicznej do instalacji stacjonarnej.

Obecnie w Polsce, w przypadku wyłowienia BCh przez rybaków i przywiezienia jej do portu (nieświadomie) lub wyrzucenia jej przez morze na plażę transportuje się ją do utylizacji w stacjonarnej instalacji niszczenia odpadów niebezpiecznych, które de facto nie są przygotowane do niszczenia bojowych środków trujących. W przeszłości, w Polsce istniało kilka stacjonarnych instalacji (piece) do termicznego niszczenia BST, głównie na potrzeby wojska. Pod koniec lat 90-tych ubiegłego wieku, pod wpływem nacisków społeczności lokalnej, instalacje te zamknięto, a następnie rozebrano i zniszczono.

Obecnie Zakłady Azotowe w Tarnowie posiadają stacjonarną instalację oraz opracowaną technologię bezpiecznego niszczenia adamsytu. Prawdopodobnie nie byłoby problemów by dostosować ją do niszczenia innych arsenoorganicznych BST (np. Clark I, II). Niestety w celu ich zniszczenia, po wydobyciu BCh z Bałtyku konieczny będzie jej transport przez całą Polskę, a to generuje znowu zagrożenia na lądzie. Niestety zakłady w Tarnowie nie są przygotowane do niszczenia innych typów BST jak np. iperytu, którego w Morzu Bałtyckim zatopiono najwięcej. Pozyskane z niepublikowanych źródeł informacje wskazują, że uniwersalną, mobilną instalację do niszczenia niedużych ilości BST posiada Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii w Warszawie. Jednak instalacja ta nie została jak dotąd sprawdzona w praktyce.

Jednym z powodów, dla których nie podejmuje się działań związanych z usuwaniem broni chemicznej z polskich obszarów morskich jest konieczność jej zniszczenia na lądzie. Jak już wspomniano wyżej, Polska nie posiada obecnie uniwersalnej stacjonarnej instalacji do niszczenia BST, dlatego też aby takie działania prowadzić konieczna jest jej budowa. Instalacja taka musi spełniać szereg wymagań oraz sprostać tym, które stawiane są przez Konwencję o zakazie broni chemicznej. Niestety budowa takiej instalacji nie jest prosta. Po pierwsze jest ona bardzo kosztowna, a po drugie tego typu instalacje są bardzo niepożądane przez społeczność lokalną zamieszkującą tereny, na których byłaby ona budowana. W obecnych czasach inwestycje mogące mieć negatywny wpływ na otoczenie czy region bardzo często muszą uzyskać zgodę lokalnego społeczeństwa na ich realizację, a to w przypadku takiej inwestycji nie byłoby łatwe do zdobycia. Dlatego też jedynym słusznym rozwiązaniem jest budowa mobilnej, morskiej instalacji, która zapewni bezpieczne

przeprowadzone zniszczenia wyłowionej lub wydobytej z dna broni chemicznej w miejscu jej wydobycia, bez konieczności transportowania jej w głąb kraju.

Jednak proces remediacji morza z zatopionej w nim broni chemicznej nie sprowadza się jedynie do budowy instalacji i zniszczenia trucizn. Likwidacja zagrożeń to cały system, który zapewni, że działania te będą bezpieczne dla środowiska oraz ludzi prowadzących te operacje. Aby tego dokonać należy przeprowadzić szereg prac, podczas których podejmie się ostateczną decyzję, czy operacja taka jest wykonalna i przede wszystkim bezpieczna. System ten powinien się składać z następujących podsystemów:

- wykrywania i lokalizacji;
- identyfikacji;
- oceny stanu technicznego;
- wydobycia;
- zniszczenia.

2. WYKRYCIE I LOKALIZACJA

Precyzyjna lokalizacja składowiska odpadów broni chemicznej, wraku lub pojedynczych obiektów, ich identyfikacja oraz ocena stanu technicznego stanowią niezbędny etap prac przygotowawczych do dalszego postępowania z niebezpiecznym obiektem. Dane pozyskane podczas tych badań umożliwią podjęcie decyzji o dalszym postępowaniu z obiektem (wydobycie i zniszczenie obiektu lub pozostawienie go na dnie). W środowisku morskim lokalizację obiektów prowadzi się wykorzystując następujące techniki:

- hydroakustyczne, wykorzystujące fale ultradźwiękowe – echosondy sonary;
- magnetyczne, rejestrujące zmiany lub zaburzenia ziemskiego pola magnetycznego wywołane obecnością obiektu zaburzającego to pole – magnetometry;
- wizualne, wykorzystujące światło widzialne – kamera, nurek.

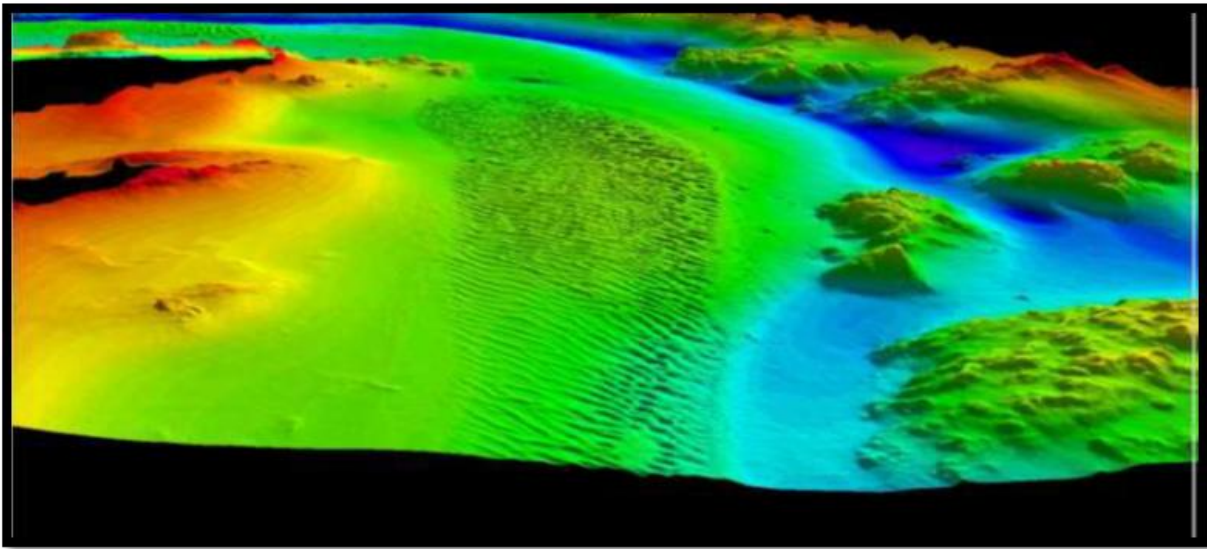
Poszukiwanie i lokalizacja zatopionej broni chemicznej wymaga zastosowania wszystkich wyżej wymienionych technik.

2.1. Hydroakustyczne pomiary batymetryczne

Istotą prac batymetrycznych jest wykonanie pomiaru głębokości badanego obszaru powiązanego jednocześnie z dokładnym umiejscowieniem tego pomiaru oraz określenie rzeźby dna morskiego. Informacje te niezbędne są podczas dalszych prac poszukiwania i lokalizacji obiektów podwodnych, a w szczególności w czasie doboru odpowiednich

parametrów pomiarowych sprzętu badawczego, a także do zapewnienia bezpieczeństwa tych badań (np. uniknięcie kolizji sprzętu badawczego z dnem). Bardzo często pomiary batymetryczne umożliwiają już wstępne wykrycie obiektu, szczególnie o dużym rozmiarze, np. wraków.

Pomiary batymetryczne realizowane są z wykorzystaniem echosond jednowiązkowych lub znajdujących się na znacznie wyższym poziomie technologicznym echosond wielowiązkowych, szczególnie przydatnych na dużych obszarach badawczych. Współczesne systemy echosond jedno i wielowiązkowych posiadają pełną wizualizację danych w postaci graficznej i cyfrowej z możliwością zobrazowania profilu na wyświetlaczu LCD. Na rysunku 1 przedstawiono przykład trójwymiarowego obrazu dna uzyskanego dzięki pomiarom batymetrycznym z wykorzystaniem sondy wielowiązkowej.



Rys. 1. Trójwymiarowy model dna uzyskany na podstawie wysokiej rozdzielczości echosondy wielowiązkowej Seabat 8125 RESON
Źródło: Grządziel, 2004, s.10.

Stosowane współcześnie zautomatyzowane systemy pomiarowe wykorzystujące techniki komputerowe wielokrotnie skróciły czas pozyskiwania, obróbki i zobrazowania informacji batymetrycznej.

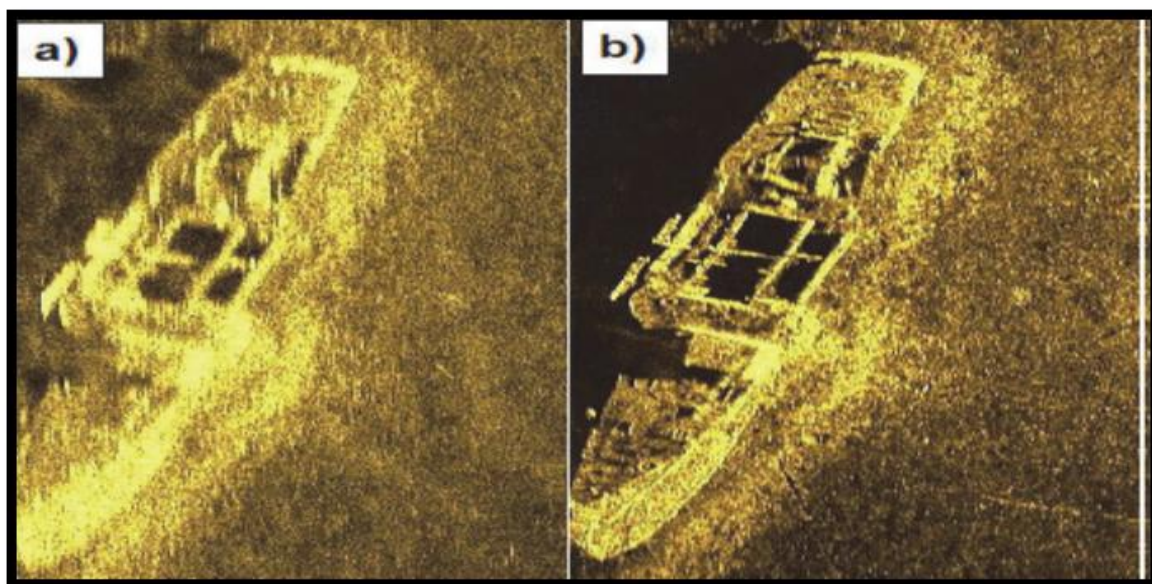
Obecnie, coraz bardziej powszechnym staje się wykonywanie pomiarów batymetrycznych za pomocą laserowych systemów hydrograficznych lub laserowych systemów batymetrycznych, które montowane są na pokładzie samolotów lub śmigłowców (Grządziel, 2004). Niestety, na dzień dzisiejszy wykorzystuje się je jedynie do badań batymetrycznych płytkich akwenów, maksymalnie do 50 m dla akwenów o czystej wodzie (Grabiec, 2018), dlatego takie rozwiązania, jak na razie, nie mogą być stosowane

w operacjach poszukiwania zatopionej broni chemicznej, gdyż zatapiano ją najczęściej na głębokościach większych niż 90 m.

Doskonałą alternatywą do echosond montowanych na statkach są, coraz częściej wykorzystywane do badań batymetrycznych, echosondy montowane na autonomicznych pojazdach podwodnych AUV. Zastosowanie takiego rozwiązania znacznie redukuje koszt badań, a badania batymetryczne głębokości i ukształtowania dna za pomocą takiego rozwiązania wykonane są ze znacznie większą dokładnością i rozdzielczością w porównaniu do tych wykonanych z pokładu jednostki badawczej.

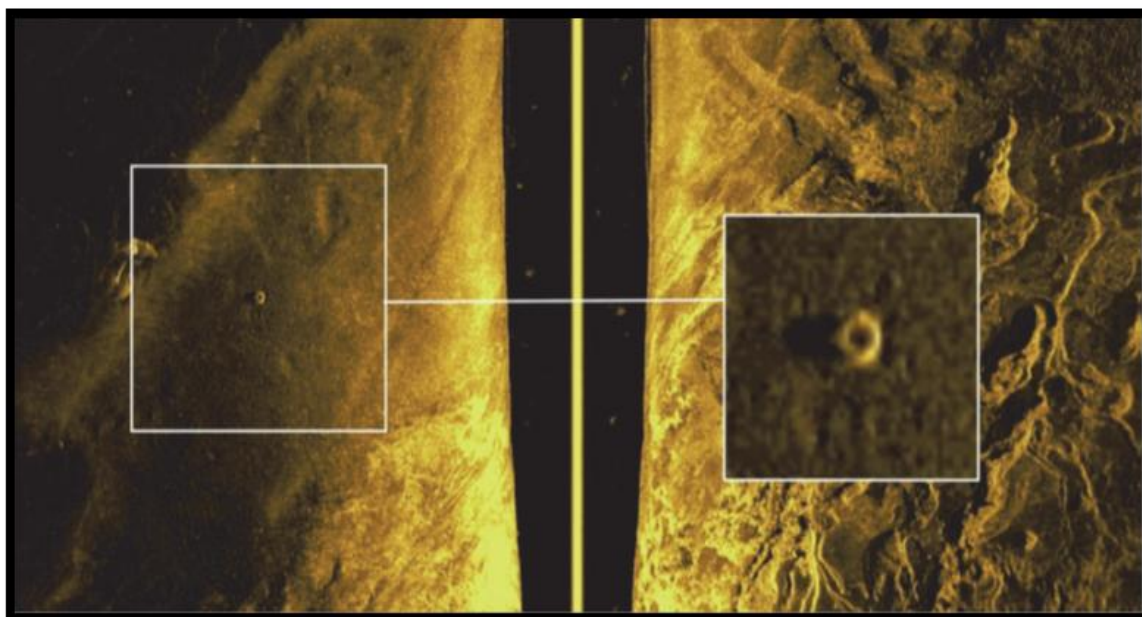
2.2. Hydroakustyczne metody poszukiwania i identyfikacji obiektów podwodnych

Drugim etapem poszukiwania, a zarazem wstępnej identyfikacji obiektu jest trałowanie hydroakustyczne. Celem tych badań jest ocena czystości badanego rejonu pod względem występowania obiektów podwodnych zalegających na dnie, zarówno naturalnych jak i antropogenicznych. Badania te umożliwiają poszukiwanie, lokalizowanie obiektów podwodnych, a także weryfikowanie danych o wykrytych już obiektach. Dzięki tym pomiarom, z większym lub mniejszym prawdopodobieństwem, otrzymuje się informację na temat występowania poszukiwanych obiektów. Badania te dostarczają także dodatkowych informacji o położeniu obiektu, jego wielkości czy charakteru, przydatne w późniejszej precyzyjnej identyfikacji obiektu. Sprzętem wykorzystywanym podczas tych badań są sonary. Wysoką efektywność poszukiwania, niezależnie od pory roku i pionowego rozkładu prędkości dźwięku, uzyskuje się sonarami o zmiennym zanurzeniu anteny, do których zalicza się hydrograficzne sonary boczne. Ze względu na miejsce umieszczenia przetworników stosuje się burtowe sonary boczne oraz holowane sonary boczne (Grządziel, 2017). Obecnie stosowane sonary boczne, przede wszystkim dzięki wysokiej rozdzielczości, umożliwiają wykrycie nie tylko dużych obiektów jak np. wraki (Rysunek 2) ale także małych, o wymiarach poniżej 1 m (Grządziel, 2017) (Rysunek 3).



Rys. 2. Pomiar sonarowy wraku trałowca na dnie Zatoki Puckiej (a) dane 100 kHz, (b) i dane 500 kHz

Źródło: Grządziel i in., 2017, s. 141.



Rys. 3. Obiekt minopodobny o średnicy 0,5 m. Pomiary ORP Arctowski, sonar Klein 3900, 2013 r.

Źródło: (Grządziel i in., 2017, s. 141).

Podczas poszukiwania i lokalizacji obiektów najczęściej wykorzystuje się sonary boczne w wariacie holowanym, którego dane sonarowe charakteryzują się wysoką rozdzielczością. Poddane obróbce cyfrowej dane sonograficzne pozwalają określić podstawowe cechy geometryczne wykrytych obiektów podwodnych.

Kluczowym zagadnieniem podczas pracy z holowanymi urządzeniami zaburtowymi, także sonarem, jest ich dokładne pozycjonowanie w toni wodnej. Współcześnie pozycjonowanie dowolnego przyrządu pomiarowego w toni wodnej realizuje się za pomocą systemów nawigacji podwodnej, nie mniej jednak dokładne pozycje obiektów podwodnych należy określić wykorzystując bardziej precyzyjne metody, wykonując badania sonograficzne za pomocą sonarów zamontowanych na autonomicznych pojazdach podwodnych AUV.

2.3. Badania magnetometryczne

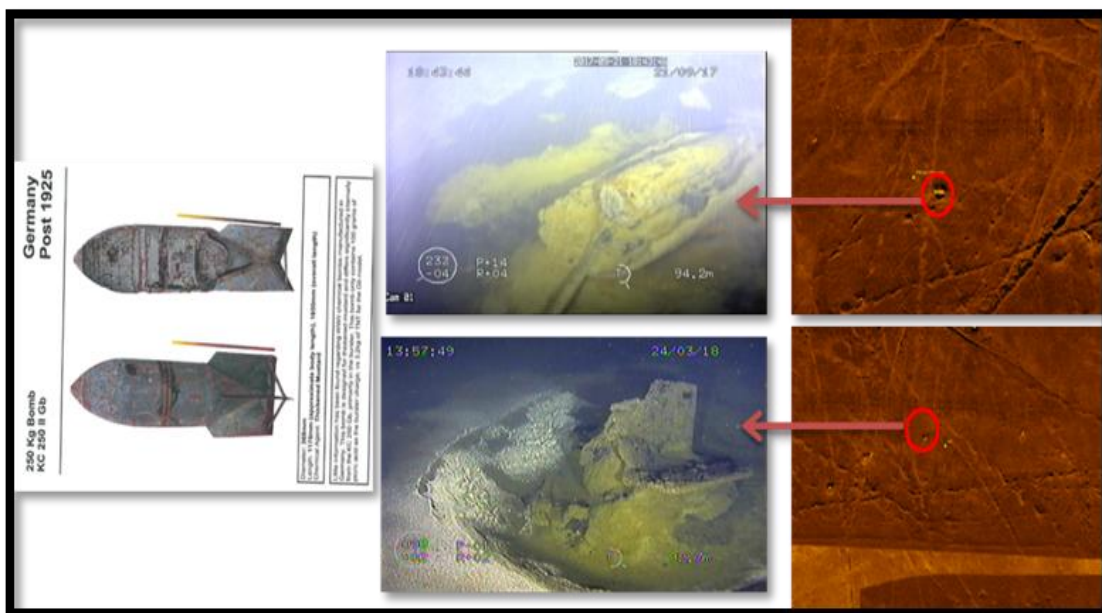
Większość obiektów stanowiących zatopioną broń chemiczną to amunicja oraz pojemniki wykonane ze stali lub materiałów zawierających w swoim składzie metale. Ten fakt wykorzystywany jest w czasie procesu eliminowania obiektów zarejestrowanych podczas badań sonarowych, które nie wykazują cech obiektów militarnych (sonary rejestrują wszystkie obiekty znajdujące się na dnie). W tym celu kolejnym etapem badań są badania magnetometryczne, których głównym celem jest wykrycie lokalnych źródeł zwiększonego natężenia pola magnetycznego wskazujących na obecność obiektów ferromagnetycznych na badanym obszarze. Najbardziej efektywną metodą przeprowadzania pomiaru magnetometrycznego, przy której możliwe jest wykrycie największej liczby obiektów to gęste rozmieszczenie profili pomiarowych oraz utrzymanie magnetometru jak najbliżej dna. Takie warunki nie zawsze mogą być jednak spełnione. Charakter i uwarunkowania naturalne badanego obszaru to główny czynnik jaki ma wpływ na sposób wykonywania badań. Zbyt niskie prowadzenie urządzenia pomiarowego przy zmiennej batymetrii czy zróżnicowanej rzeźbie dna zagraża uderzeniem lub wleczeniem urządzenia po podłożu. Gęste rozmieszczenie profili pomiarowych wydłuża natomiast koszt i czas trwania badań.

2.4. Wizualne techniki badania

Ostatni etap prac badawczo-rozpoznawczych obiektu to wizyjna inspekcja obiektu. Operacja ta wykonywana jest zwykle za pomocą bezzałogowej, zdalnie sterowanej jednostki podwodnej ROV. Jednostka połączona jest z powierzchnią za pomocą kabla lub światłowodu transmisyjnego (pępowiny). W zależności od przeznaczenia, pojazdy te wyposażone są w różne urządzenia peryferyjne ((kamery TV, sonary, manipulatory i chwytaki). Pojazdy ROV, dzięki uproszczonym procedurom sterowania, za pomocą komend przekazywanych do pojazdu poprzez kablolinę oraz zainstalowanemu wyposażeniu, w coraz większym stopniu są wykorzystywane do poszukiwania, identyfikacji lub weryfikacji obiektów dennych (zarówno tych dużych np. wraków, jak i małych np. amunicja, itp.).

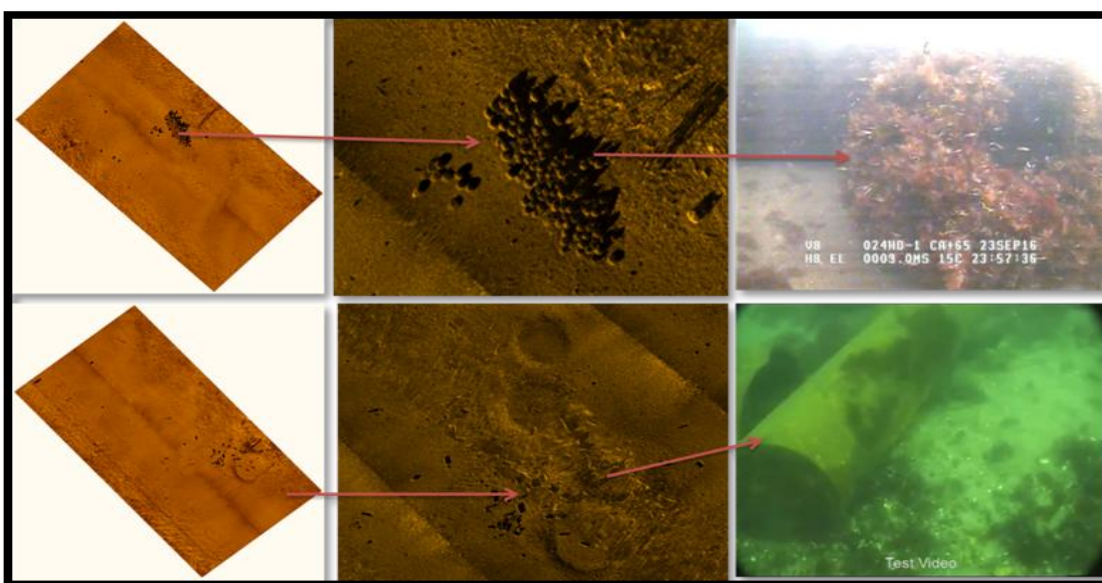
Wykorzystanie pojazdów ROV w pracach podwodnych pozwala znacznie zmniejszyć, a w wielu przypadkach całkowicie wyeliminować zagrożenie dla ludzi podczas wykonywania niebezpiecznych prac podwodnych. Operator pojazdu znajduje się w odpowiednio przygotowanej sterowni na jednostce badawczej i nie naraża się na niebezpieczeństwo związane z wykonywanymi pracami. Kolejną korzyścią, wynikającą z połączenia pojazdu za pomocą kabloliny, jest brak elementów zasilających na pokładzie robota. Dzięki temu zmniejsza się ciężar pojazdu, jego rozmiary oraz brak ograniczeń czasowych jego przebywania pod wodą.

Pojazdy te współpracują z podwodnym systemem pozycjonowania umożliwiającym określanie bezwzględnej pozycji geograficznej obiektów podwodnych. Wyposażenie pokładowe pojazdu w sonar nawigacyjny skanujący akwen w promieniu 360 stopni, lub sonar BlueView umożliwia naprowadzanie pilota pojazdu na cel do inspekcji. Ustalenie dokładnej pozycji niezbędne będzie podczas prac wydobywczych. Natomiast za pomocą zamontowanego na pojeździe ROV standardowego systemu TV podwodnej możliwe jest przekazywanie obrazu sytuacji podwodnej z jednoczesną możliwością jego archiwizacji na cyfrowym nośniku informacji. Doposażenie pojazdu w system przestrzennej obserwacji obiektów podwodnych Argos umożliwia trójwymiarową, telewizyjną obserwację sytuacji podwodnej w czasie rzeczywistym do głębokości 300 metrów. W fazie postprocesingu pozwala to na opracowanie zdjęciowej i filmowej dokumentacji 3D badanych obiektów. Pojazdy dodatkowo wyposażone mogą być w urządzenia do pobierania prób osadów dennych, wody przydennej, a umieszczenie na pojeździe manipulatora umożliwia podnoszenie obiektów o niewielkim ciężarze. Doposażenie pojazdu zależne jest od potrzeb. Na kolejnych, następujących po sobie obrazach (Rysunek 4) zaprezentowano wykrycie oraz identyfikację wraku na Głębi Bornholmskiej.



Rys. 5. Bomba lotnicza KC-250 wykryta w Głębi Bornholmskiej
 Źródło: Opracowano na podstawie: OPCW, Handbook of pre-1946 chemical weapons, vol. 1, 2011 oraz udostępnionych obrazów sonograficznych i z pojazdu ROV przez M. Grabowski, IO PAN.

Na rysunku 6. zaprezentowano analizę wykrytej grupy obiektów na dnie Cieśniny Mały Bełt, w rejonie Kolberger Heide. Zdjęcia prezentują w kolejności wstępne badania hydroakustyczne wykonane za pomocą sonaru holowanego, kolejne dokładne pomiary przeprowadzone za pomocą sonaru bocznego zamontowanego na autonomicznym pojeździe podwodnym, a następnie wizyjną identyfikację obiektów wykonaną zdalnie sterowanym pojazdem podwodnym ROV.



Rys. 6. Miny i bomby zatopione w rejonie Kolberger Heide
 Źródło: Materiał udostępniony przez M. Grabowski, IO PAN.

3. IDENTYFIKACJA TYPU OBIEKTU I OCENA STANU TECHNICZNEGO

Likwidacja bojowych środków trujących musi być przeprowadzona zgodnie z zaleceniami Konwencji o zakazie broni chemicznej. Oznacza to, że produkt końcowy procesu destrukcji musi posiadać postać gwarantującą, że broń chemiczna nie może być z niego odbudowana oraz nie będzie on użyty do innych celów zabronionych Konwencją. Dodatkowo Konwencja nakazuje Państwu-Stronie dokonującemu niszczenia broni chemicznej "przyłożenia najwyższego priorytetu" do ochrony środowiska i zdrowia ludzi. Wymagania te wymuszają na państwie, które decyduje się na wydobycie i zniszczenie zatopionej broni chemicznej odpowiednie przygotowanie instalacji do niszczenia BST, w której metodę niszczenia będzie dobierać się w zależności od rodzaju BST oraz stanu technicznego broni chemicznej. Dopasowując odpowiednią metodę postępowania należy rozpatrzyć następujące zagadnienia związane m. in. Z oceną:

- typu obiektu przeznaczonego do zniszczenia;
- stanu technicznego obiektu;
- składu chemicznego BST.

3.1. Określenie typu broni

Uwzględniając fakt, że bardzo często wraz z bronią chemiczną zatapiano także broń konwencjonalną, lub w rejonach zatapiania broni konwencjonalnej zatapiano następnie broń chemiczną, natychmiast po wydobyciu obiektu należy, jeśli to możliwe, ocenić typ wydobytej broni (konwencjonalna lub chemiczna), jeśli oczywiście bronią jest wydobyty obiekt. Zadanie to może być utrudnione stanem technicznym obiektu. Mocno skorodowane korpusy amunicji, czasami tylko jej fragmenty mogą uniemożliwić przeprowadzenie tej identyfikacji. Decydując się na wydobycie broni chemicznej zawsze należy uwzględnić z dużym prawdopodobieństwem, że wydobyty obiekt może być amunicją konwencjonalną. Dlatego też podczas operacji wydobywania broni chemicznej, w każdym przypadku niezbędna jest obecność sapera. Jego podstawowym zadaniem jest określenie rodzaju amunicji oraz stwierdzenie czy amunicja jest niewybuchem, czy posiada zapalnik, stan tego zapalnika, a także ocena zagrożenia wybuchem.

Ocena typu broni będzie miała istotne znaczenie przy realizacji kolejnych etapów niszczenia. Czasami może ona być dokonana już na etapie wizualnego podwodnego rozpoznania obiektu. Jeśli taka sytuacja miała miejsce wówczas obiektu zidentyfikowanego jako broń konwencjonalna nie wydobywa się. W przypadku konieczności jego usunięcia (przeszkoda na torze wodnym, prace podwodne itp.) zniszczeniem takiego obiektu zajmują

się specjalne służby. W Polsce są to najczęściej saperzy-minerzy Marynarki Wojennej RP. W ostatnim czasie na rynku pojawiły się także firmy prywatne posiadające takie uprawnienia. Jednak prace rozminowania prowadzą one najczęściej na płytkich (do 50 m) wodach przybrzeżnych.

Wydobycie amunicji, a jednocześnie etap rozpoznania jej typu może być pominięty, w przypadku zastosowania wybuchowego niszczenia amunicji w specjalnych, szczelnych, wytrzymałych i hermetycznych zbiornikach już w miejscu jej zalegania. Takie technologie znajdują się, jak na razie w fazie testów, jednak niewykluczone, że w niedalekiej przyszłości będą już powszechnie stosowane. Najczęściej jednak, szczególnie w przypadku uszkodzonej amunicji, powinna ona zostać załadowana do szczelnego, hermetycznego i odpornego na detonację pojemnika, który następnie wydobyty z wody zostanie przeniesiony bezpośrednio bez jego otwierania do komory niszczenia.

3.2. Ocena stanu technicznego

Jak wspomniano wyżej, ocena stanu technicznego obiektu może być możliwa już podczas podwodnej inspekcji. Wtedy należy także podjąć decyzję jakie będą dalsze procedury postępowania z bronią chemiczną. Dotychczasowe badania oraz przypadkowe wydobycia lub wyrzucenie broni chemicznej na plaże pokazują, że stan techniczny amunicji może być bardzo zły. Amunicja może być mocno skorodowana, a czasami są to jedynie jej fragmenty. Niekiedy są to już jedynie zbrylone BST, co jest bardzo powszechne w przypadku iperytu, czy stałych bojowych środków trujących jak chloroacetofenon. Powoduje to, że prace z takimi obiektami są niezwykle niebezpieczne i wymagają szczególnej ostrożności. Z drugiej jednak strony, niszczenie samych BST, bez opakowań jest znacznie łatwiejsze pod względem technicznym.

3.2.1. Ustalenie składu chemicznego

Ocenie powinien podlegać nie tylko stan techniczny wyłowionej amunicji, ale również rodzaj wypełnienia (rodzaje środków trujących, jego forma, stan itp.) oraz stan elementów inicjujących i wybuchowych. Pierwsze zadanie może wykonać wyspecjalizowane laboratorium chemiczne, a drugie specjaliści z wojsk inżynieryjnych.

Uniwersalną i w pełni wiarygodną metodą weryfikacji broni chemicznej jest analiza chemiczna próbek środka toksycznego. Metodę tą stosować się powinno w przypadku wydobycia rozszczelnionej amunicji chemicznej lub zbiornika z BST lub zbrylonego bojowego środka trującego. Obecnie wykorzystuje się wiele przenośnych analizatorów

skażeń, dzięki którym można prawie natychmiastowo zidentyfikować rodzaj BST. Niestety, w próbkach, szczególnie zmieszanych z materiałem dennym (osadem), gdzie znajduje się wiele produktów biologicznego rozkładu (H_2S) identyfikacja może wskazać błędny wynik, szczególnie w przypadku iperytu siarkowego, dlatego też przyrządy rozpoznania skażeń powinny być wykorzystywane do wstępnej analizy jakościowej. Potwierdzone analizy powinny zostać wykonane z użyciem bardziej zaawansowanego sprzętu analitycznego np. przenośny GC/MS. Można oczywiście pobrać próbkę i przetransportować ją do jednego z wyżej wymienionych laboratoriów, jednak jest to metoda czasochłonna. Dlatego też zespół wydobywający broń chemiczną powinien być wyposażony w polowe zestawy analityczne, które bez wątpliwości, w różnych matrycach środowiskowych będą w stanie zidentyfikować BST.

Problem z chemiczną identyfikacją BST pojawi się w przypadku, gdy wydobyta amunicja jest wciąż szczelna lub amunicję wydobyto na pokład w specjalnym, hermetycznym opakowaniu. W tych przypadkach proces pobrania prób wymaga otwarcia amunicji lub pojemnika zawierającego środki trujące. Rozwiązanie to jest czasochłonne, a przede wszystkim zawsze stwarza zagrożenie dla zdrowia operatora i może prowadzić do skażenia otoczenia bądź środowiska. Wymienione niedogodności z powodzeniem można wyeliminować stosując nieinwazyjne (niedestrukcyjne) metody badania zawartości amunicji chemicznej i pojemników z bojowymi środkami trującymi. Spośród wielu możliwych sposobów określenia zawartości zamkniętych elementów broni chemicznej, praktyczne zastosowanie znalazły:

- sondowanie ultradźwiękowe – metoda prosta, szybka jednak nieskuteczna podczas badania pojemników z podwójnymi ściankami. Niejednoznaczne wyniki otrzymuje się w przypadku spolimeryzowanego BST (np. iperyt siarkowy), w którym to przypadku możliwa jest kwalifikacja amunicji jako konwencjonalnej;
- akustyczna spektroskopia rezonansowa – metoda ta pozwala na szybkie określenie, z bardzo dużą wiarygodnością stanu fizycznego wypełnienia amunicji (pusta, ciecz, ciało stałe). Metoda ta jest jednak metodą porównawczą i wymaga posiadania biblioteki wzorców rezonansowych, jednak przy dobrze określonych widmach możliwe jest także określenie rodzaju środka trującego. Metoda ta nie nadaje się do określania poziomu cieczy (ilość BST) w amunicji, pojemnikach;
- spektroskopia promieniowania gamma – metoda ta umożliwi bezpośrednie wykrycie i oznaczenie wszystkich najważniejszych pierwiastków wchodzących w skład BST

i materiałów wybuchowych bez względu na stan fizyczny wypełnienia badanego obiektu. Pozwala ona na rozróżnienie amunicji chemicznej i konwencjonalnej oraz na identyfikację zawartości kontenerów i zbiorników wypełnionych substancjami toksycznymi. Wadą tej metody jest konieczność używania ciekłego azotu i źródeł promieniotwórczych o dużej aktywności, wysoki koszt aparatury i stosunkowo długi czas pomiaru;

- pomiar zawartości wodoru – metoda pozwala na szybkie rozróżnienie materiałów wybuchowych od substancji toksycznych, stąd wykorzystuje się ją do rozróżniania amunicji chemicznej od konwencjonalnej. Niestety w przypadku pocisków (kontenerów) wypełnionych iperytem lub luizytem badanie może wskazywać obecność klasycznych materiałów wybuchowych, dlatego też metoda ta wymaga potwierdzenia wyników inną, na przykład metodą akustyczną;
- neutronowa analiza aktywacyjna – metoda ograniczona do tych BST, które zawierają chlor, brom lub arsen, co w praktyce oznacza, że nadaje się do badania starej broni chemicznej;
- prześwietlanie badanych obiektów promieniami Roentgena – metoda ta jest szczególnie przydatna do kontroli zawartości zamkniętych opakowań transportowych lub kontenerów z amunicją wewnątrz. Metoda ta może być również wykorzystywana do badania stopnia wypełnienia amunicji chemicznej oraz oceny stanu fizycznego wypełnienia;
- bezwładność pocisku w zmiennym ruchu obrotowym – metoda możliwa do zastosowania wyłącznie do nieuszkodzonej amunicji (Starostin, 1996).

Przedstawione metody niedestrukcyjnego badania broni chemicznej i amunicji konwencjonalnej nie wyczerpują wszystkich możliwych technik pomiarowych. Zdecydowana większość z nich bazuje jednak na podobnych podstawach, różne są tylko szczegółowe rozwiązania techniczne.

4. WYDOBYCIE I NISZCZENIE BRONI CHEMICZNEJ

W Polsce brak jest wyspecjalizowanego zakładu zajmującego się profesjonalnie niszczeniem amunicji wypełnionej BST (na wzór Niemiec, Rosji, Wielkiej Brytanii), a znaleziska starej broni chemicznej lub beczek z bojowym środkiem trującym „neutralizowane” są na najbliższym poligonie przez zespół złożony ze specjalistów z wojsk chemicznych. Neutralizacja amunicji niemożliwej do transportu jest prowadzona

„na miejscu”: w przewoźnej instalacji lub metodą saperską z otuliną przeciwchemiczną, natomiast pojemniki, beczki, kontenery ze stałymi BST są likwidowane w specjalistycznym zakładzie pod nadzorem specjalistów dziedziny BST. Nie są to jednak w pełni bezpieczne i rekomendowane metody.

Dla potrzeb niszczenia wydobywanej z Bałtyku broni chemicznej konieczne są metody bezpieczne nie tylko dla ludzi, ale także dla środowiska naturalnego. Najbardziej odpowiednią wydaje się być instalacja mobilna, umożliwiająca przeprowadzenie likwidacji „na miejscu”. Poniżej dokonano przeglądu stosowanych obecnie mobilnych instalacji do niszczenia porzuconej broni chemicznej.

4.2. Mobilne instalacje do niszczenia broni chemicznej

System FDHS

Na potrzeby likwidacji broni chemicznej USA opracowano Mobilny System Hydrolizy Polowej (FDHS - Field Deployable Hydrolysis System), który został zatwierdzony przez Pentagon do niszczenia broni chemicznej i wdrożony do produkcji. Zasada działania systemu polega na wpompowaniu bojowych środków trujących (system przygotowany jest również do destrukcji nowej generacji BST) do tytanowego zbiornika, gdzie następnie zostają one zmieszane z gorącą wodą oraz wodorotlenkiem sodu i wybielaczem, które spełniają rolę wyzwalaczy hydrolizy. Podczas zachodzącej reakcji duże cząsteczki szkodliwych substancji, zostają pod wpływem wody podzielone na mniejsze fragmenty, co ułatwia procesy niszczenia BST. Metoda hydrolizy wykorzystywana była do niszczenia amerykańskich zapasów broni chemicznej, zgodnie z wymogami Konwencji, jednak wówczas stosowano ją jedynie w dużych zakładach, przez co, ze względu na rozmiary miała charakter stacjonarny.

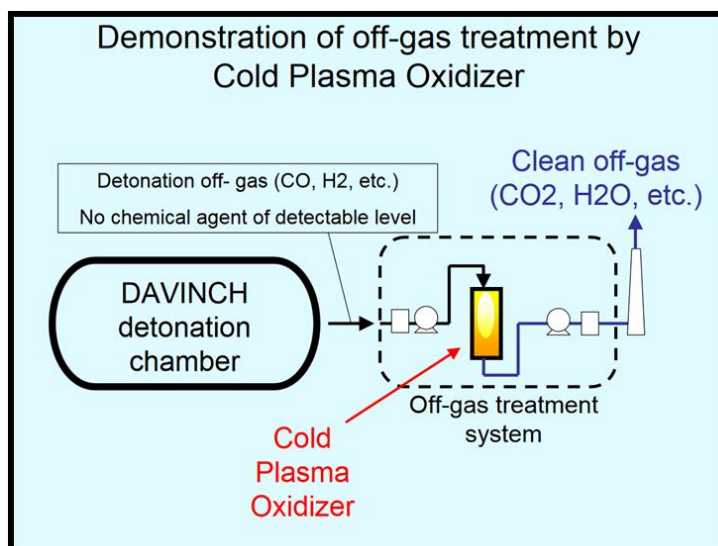
Obecnie system, jest znacznie mniejszy i zapakowany w kilka kontenerów. Jest on w stanie przetwarzać od 5 do 25 ton chemikaliów bojowych dziennie, w zależności od rodzaju środka bojowego. Wadą użytej technologii jest wytwarzanie dużej ilości ścieków, których objętość jest 14-krotnie większa od objętości wprowadzonych chemikaliów. Ścieki, jako odpady szkodliwe poddawane są utylizacji.

Niestety instalacja ta nie może być wykorzystana do niszczenia BST zawartych w uszkodzonej, w złym stanie technicznym starej amunicji chemicznej, gdyż warunkiem koniecznym wykorzystania tej metody jest opróżnienie amunicji czy pojemników z BST. Może ona jednak służyć do niszczenia BST umieszczonych w beczkach lub luzem wyrzuconych na plażę.

System DAVINCH

Jednym z powszechnie stosowanych na świecie systemów niszczenia starej, także zatopionej broni chemicznej, jest system o nazwie DAVINCH. Instalacja składa się z wytrzymałej na wysokie ciśnienia komory, w której dokonuje się próżniowej detonacji wydobytych pocisków. Procesy detonacji prowadzone są w ten sposób, że powodują rozkład bojowych środków trujących. Powstałe w procesie produkty rozkładu, niestety niektóre z nich szkodliwe, są transportowane do zakładów utylizacji substancji toksycznych. System ten doskonale sprawdził się podczas niszczenia zatopionej w Japonii, w pobliżu portu Kanda, broni chemicznej. Dodatkową zaletą tego systemu jest to, że utylizacji podlega cała amunicja, odchodzi więc problem wydobywania z niej BST.

Obecnie instalacja została zmodyfikowana o komorę, w której w warunkach zimnej plazmy, zostają zniszczone gazowe produkty powstałe po detonacji w komorze DAVINCH. Schemat systemu zaprezentowano na rysunku 7. Niestety i w tym przypadku pozostają szkodliwe odpady po arsenowych bojowych środkach trujących. Odpady te muszą zostać przetransportowane do zakładów utylizacji substancji toksycznych.



Rys. 7. Schemat systemu niszczenia broni chemicznej z komorą detonacyjną DAVINCH oraz komorą zimnoplazmową

Źródło: Washida, Kitamura, 2006.

Analizując stosowane obecnie systemy niszczenia starej amunicji chemicznej wydaje się być słusznym, że właśnie ten system jest najbardziej odpowiedni do zastosowania w mobilnych instalacjach do niszczenia amunicji chemicznej, także na morzu.

Instalacja do niszczenia związków arsenoorganicznych

W Polsce Jednostka Ratownictwa Chemicznego w Tarnowie posiada instalację chemicznej utylizacji związków arsenoorganicznych na skalę przemysłową, o wydajności około 40 ton/rok. Instalacja była wykorzystana w latach 1999 – 2003 do realizacji procesów utylizacji adamsytu oraz odpadów przemysłowych zawierających organiczne związki arsenu.

Powinno rozważyć się, czy na bazie tej instalacji można zbudować taką, która zapewniałaby możliwość utylizacji także innych bojowych środków trujących (iperyt siarkowy, chloroacetofenon, tabun). W tym celu konieczne jest wykonanie projektu procesowego utylizacji pozostałych środków trujących, a następnie doposażenie istniejącej instalacji w dodatkowe elementy konstrukcyjne.

4.3. Założenia do mobilnej morskiej instalacji do wydobycia i niszczenia zatopionej broni chemicznej

Powyżej przedstawiono kilka systemów wykorzystywanych do niszczenia broni chemicznej lub bojowych środków trujących. Każdy z nich ma swoje wady i zalety. Jednak większość wymaga deelaracji BST z amunicji, co w przypadku skorodowanej zatopionej broni chemicznej wiąże się z ogromnym ryzykiem i zagrożeniami, a w wielu przypadkach może być nawet niemożliwe do wykonania. Dlatego też najwłaściwszym wydaje się wykorzystanie systemu wybuchowego niszczenia amunicji (innych pojemników) połączonego z zimnoplazmowym systemem dopalania gazów wylotowych. Niestety należy także zaprojektować i wyposażyć instalację w system niszczenia związków arsenu, a raczej do przeprowadzenia ich w formy, które można będzie wykorzystać w przemyśle. Znanych jest obecnie wiele technologii przeprowadzania związków arsenowych np. w arsen metaliczny, dlatego też nie powinno być problemem dołączenie do instalacji dodatkowej sekcji, w której proces odzyskiwania arsenu będzie możliwy. Budując system niszczenia broni chemicznej, należy także uwzględnić fakt, że nadrzędną zasadą jest to, iż niszczenie BST wymaga bardzo skutecznego i wiarygodnego systemu bezpieczeństwa chroniącego zdrowie ludzkie oraz środowisko w rejonie niszczenia broni chemicznej, w tym kontrolę emisji metali ciężkich i innych zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska.

System powinien być wyposażony w najlepszą obecnie dostępną technikę, wśród której niezbędnym wyposażeniem jest:

- badawcza jednostka pływająca, której charakterystyka oraz wyposażenie pozwoli na prowadzenie badań przy wysokich stanach morza, minimum 4. Powinna być ona wyposażona m.in. w stery strumieniowe, kabiny laboratoryjne, magazyny dla sprzętu, system dekontaminacji ludzi i sprzętu, stacja dokująca dla pojazdów podwodnych, bramownica itp.;
- grupa pojazdów podwodnych zarówno autonomicznych AUV jak i zdalnie sterowanych ROV wyposażonych w odpowiednie czerpacze do poboru prób osadów, wody, części amunicji, precyzyjne manipulatory, a także w urządzenia hydroakustyczne umożliwiające dokładną lokalizację obiektów niebezpiecznych, ich identyfikację oraz ocenę stanu technicznego;
- instalacja do niszczenia amunicji chemicznej bezpośrednio na morzu, która spełnia wymogi weryfikowalnego niszczenia broni chemicznej. Musi ona zostać zatwierdzona przez Sekretariat Techniczny Konwencji o zakazie broni chemicznej;
- wybierając sposób niszczenia, w zależności od zastosowanej technologii, należy opracować właściwą, a przede wszystkim bezpieczną technologię rozmontowywania amunicji chemicznej (w komorze DAVINCH nie jest to konieczne). Podstawą większości jest wyodrębnienie chemikaliów z obudowy amunicji. Można to osiągnąć przez:
 - demontaż amunicji;
 - wykonanie otworu przez przedziurawienie bądź przewiercenie i wysączenie chemikaliów;
 - rozcinanie obudowy amunicji.
- komora dekompresyjna dla nurków;
- barka holowana (bez napędu) – niezbędna do zainstalowania na niej instalacji i komory dekompresyjnej;
- sprzęt do badań hydroakustycznych (sonary, magnetometry, echosonda parametryczna, echosonda wielowiązkowa);
- urządzenia laboratoryjne i pomiarowe do identyfikacji amunicji chemicznej i bojowych środków chemicznych;
- urządzenia filtracyjne i kontrolno-pomiarowe – niezbędne do zachowania rygorów środowiskowych;
- system pozycjonowania satelitarnego statku i pojazdów podwodnych;

- specjalne pojemniki do podnoszenia amunicji;
- sprzęt komputerowy + łączność satelitarna.

Nie wydaje się, aby wykonalnym było oczyszczenie Morza Bałtyckiego z całej zalegającej na jego dnie broni chemicznej. Jednak powinien zostać stworzony skuteczny system do jej niszczenia w obszarach, gdzie stanowi ona zagrożenie dla połowów, plaż, nowych inwestycji na dnie lub innych istotnych gospodarczo prac eksploatujących dno morskie.

5. PODSUMOWANIE

Do niedawna pogląd większości ekspertów był taki, iż nie widziano potrzeby wydobywania amunicji z morza i przewożenia jej na ląd w celu zniszczenia. Zdecydowanie optowano za pozostawieniem jej w morzu i ewentualne odizolowanie jej od otaczającej wody. W ostatnich latach postęp techniczny zarówno w dziedzinie metod poszukiwania zatopionych obiektów oraz nowe bezpieczne dla ludzi i środowiska techniki i technologie utylizacji trucizn, bardzo często wykonanej pod wodą bez konieczności wyciągania amunicji na ląd, spowodowały, że eksperci zaczęli skłaniać się do tego, by rozpocząć niszczenie zatopionej broni chemicznej, a tym samym oczyścić dno morskie z broni chemicznej.

Budowa instalacji nie rozwiązuje problemu wydobywania i niszczenia zatopionej broni chemicznej. Operacja taka wymaga opracowania także metod poszukiwania broni chemicznej, jej identyfikowania, oceny możliwości wydobywania zależnego od stanu technicznego amunicji, i pojemników z BST, zidentyfikowania zawartości amunicji no i oczywiście podjęcia amunicji z dna. Dopiero wówczas można powiedzieć, że system został przygotowany właściwie. Kilkanaście lat temu operacji tych nie można było właściwie zrealizować. Jednak rozwój technologiczny umożliwia już bezpieczniejsze wydobywanie amunicji chemicznej oraz wciąż doskonalą metody jej niszczenia, które czynią te operacje bezpiecznymi dla ludzi i środowiska.

LITERATURA

Bełdowski, J. i in. (2014). *CHEMSEA Findings – Results from CHEMSEA Projects – Chemical Munitions Search and Assessment*, IOPAN, Sopot.

Bełdowski, J. i in. (2016). *Arsenic concentrations in Baltic Sea sediments close to chemical munitions*. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, Volume 128, 114-122.

Bunnet, J.F. (1995). *Some problems in the destruction of chemical munitions, and recommendations toward their amelioration – technical report*. Pure and Applied Chemistry, vol. 67, 5, 841-858.

- Grabiec, D. (2018). Hydrografia morska – *Quo vadis? Krótkie spojrzenie na kierunki rozwoju hydrograficznych metod i środków pomiarowych*. http://www.bhmw.mw.mil.pl/zasoby/ph/pliki/PH_1_Grabiec.pdf dostęp: 02.11.2018 r.
- Grządziel, A. i in. (2017). *Wykrywanie i lokalizowanie obiektów podwodnych sonarem bocznym, jako element bezpieczeństwa żeglugi*. *Autobusy*, 12/2017, 140-143.
- Grządziel, A. (2004). *Pomiary batymetryczne – dawniej i dziś*. *Przegląd Morski* nr 4, Gdynia.
- Król, S. (2016). *Broń chemiczna w drugiej dekadzie XXI wieku*. *Biuletyn Centrum Szkolenia OPBMR*, 4, 6, 1-5.
- Witkiewicz, Z. (1998). *Stan techniczny zatopionej amunicji chemicznej I przewidywane tego konsekwencje*. [w:] T. Kasperek (red.) *Broń chemiczna zatopiona w Morzu Bałtyckim*, Gdynia, 36-37.
- Starostin, L. (1996). *Niedestrukcyjne metody badania amunicji chemicznej*, *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, 9 (529), 59 – 80.
- Washida, A., Kitamura, R. (2006). *Destruction of Old Chemical Bombs using DAVINCH TM at Kanda*. Japan, CWD presentation, Bruksela.