

**KONCEPCJA MOBILNEGO, LĄDOWEGO SYSTEMU INSPEKCJI
DNA AKWATORIÓW POLSKICH PORTÓW MORSKICH
THE CONCEPT OF MOBILE, TERRESTRIAL INSPECTION SYSTEM
OF BOTTOM POLISH SEAPORTS**

Krzysztof GAWRYSIAK
k.gawrysiak@amw.gdynia.pl

Akademia Marynarki Wojennej
Wydział Dowodzenia i Operacji Morskich
Instytut Operacji Morskich

STRESZCZENIE

W artykule precyzyjnie zidentyfikowano potencjalne sposoby i środki przeprowadzenia zamachu/ataku z kierunku podwodnego na porty morskie - elementy infrastruktury krytycznej państwa. W konsekwencji dokonanej analizy poczyniono rozważania, których wynikiem stało się opracowanie koncepcji mobilnego, lądowego systemu hydroakustycznego przeznaczonego do wykrywania min morskich i ładunków wybuchowych zaimplementowanych na dnie basenów portowych. Szczególną uwagę poświęcono doborowi właściwego urządzenia detekcyjnego.

SUMMARY

In the article precisely identified potential methods and resources of carrying out the assassination/attack from the underwater direction on the seaports - elements of critical infrastructure. As a consequence of analysis that has been done, made considerations, which has become a concept development for mobile, land, hydroacoustic system intended to detect mines and explosives that are implemented at the bottom of the seaports aquatories. Particular attention was given to selecting the appropriate detection device.

Słowa kluczowe: port morski, infrastruktura krytyczna, zagrożenie podwodne, atak terrorystyczny, inspekcja dna morskiego

Key words: seaport, critical infrastructure, underwater threat, terrorist attack, inspection of seaports bottom

WSTĘP

„Współczesne środowisko bezpieczeństwa międzynarodowego jest coraz bardziej niepewne i złożone. Dzieje się tak wskutek nieustannego poszerzania się sieci globalnych połączeń politycznych, militarnych, gospodarczych i społecznych, co wywiera bezpośredni wpływ na relacje między państwami, podmiotami pozapaństwowymi i poszczególnymi ludźmi. Pojawiają się nowe zagrożenia dla bezpieczeństwa, które wymagają skutecznego adekwatnego do nowych wyzwania przeciwdziałania ze strony władz państwa. Nadmorskie

położenie Polski ma strategiczne znaczenie dla bezpieczeństwa narodowego oraz społeczno-gospodarczego rozwoju, z wszelkimi wynikającymi z tego konsekwencjami¹.”

Niniejsza publikacja jest kontynuacją rozważań poczynionych w artykule pt.: „Zagrożenie infrastruktury krytycznej polskich portów morskich pochodzące z kierunku podwodnego” opublikowanym w czasopiśmie Polskiego Wydawnictwa Ekonomicznego „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” nr 12/2017. Wówczas precyzyjnie zdefiniowano pojęcie portu morskiego oraz wskazano jego cechy i funkcje włączające go w skład infrastruktury krytycznej państwa. Wyjaśniono pojęcie zagrożenia pochodzącego z kierunku podwodnego i zaprezentowano przykłady współczesnych ataków terrorystycznych przeprowadzonych na statki i porty morskie. Stało się to podstawą do przeprowadzenia rozważań na temat potencjalnych ataków lub zamachów prawdopodobnych w przyszłości. Ponadto określono bieżący stan bezpieczeństwa portów morskich i jednostek w nich przebywających. W końcu zidentyfikowano źródła, sposoby przeprowadzenia, obiekty i skutki potencjalnych ataków lub zamachów pochodzących z kierunku podwodnego.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zagrożenie istnieje, a kierunek podwodny jest najslabiej strzeżony i najtrudniejszy do monitorowania. Natomiast nakłady na wykonanie takiego ataku wcale nie muszą być wysokie.

Podsumowano, że „w zależności od prognozowanego zagrożenia dostępny jest szereg rozwiązań począwszy od rozbudowanych systemów stacjonarnych zapewniających monitoring ciągły, przez średniej wielkości systemy mobilne mogące służyć podczas dużych imprez masowych jak regaty, czy portowe fazy ćwiczeń wojskowych, po małe systemy mobilne przeznaczone do okresowego wykorzystania np. w przypadku otrzymania nagłych danych wywiadowczych lub podczas obecności w porcie osób stwarzających podwyższone ryzyko. Zaprezentowanie, omówienie i usystematyzowanie dostępnych rozwiązań stanowi przyczynek do dalszych rozważań naukowych i kolejnego artykułu.” (Gawrysiak, 2017, s. 250).

Wobec tego celem niniejszej publikacji jest zaproponowanie koncepcji mobilnego, lądowego systemu hydroakustycznego do walki z zagrożeniem infrastruktury krytycznej polskich portów morskich pochodzącym z kierunku podwodnego. Rozważanie są z jednej strony kontynuacją badań poczynionych wcześniej ukierunkowaną na uszczegółowienie konkretnych zagrożeń przedstawionych wówczas w sposób ogólny. Z drugiej strony stanowią próbę wskazania rozwiązania strukturalnego i technicznego mogącego w realny sposób

¹ Fragment Słowa wstępnego Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej Pana Andrzeja Dudy do *Strategicznej koncepcji bezpieczeństwa morskiego RP*, Biuro Bezpieczeństwa Narodowego, Warszawa-Gdynia 2017.

przyczynić się do zwiększenia wyróżnionego i opisanego fragmentu bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej polskich portów morskich.

Opracowanie koncepcji mobilnego, lądowego systemu hydroakustycznego do walki z zagrożeniem infrastruktury krytycznej polskich portów morskich pochodzącym z kierunku podwodnego stanowi cel główny niniejszych rozważań. Operacjonalizacja tegoż celu wymaga określenia następujących celów szczegółowych:

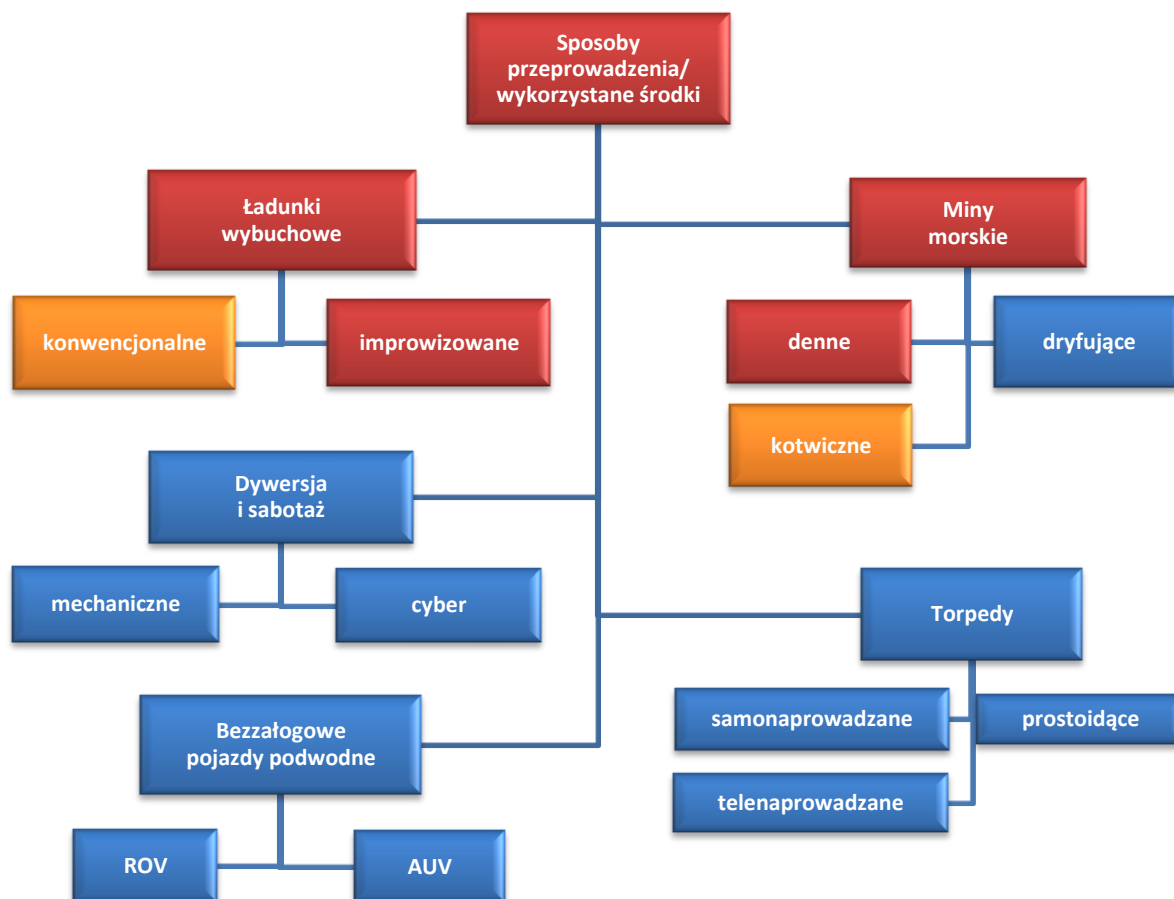
- precyzyjne zidentyfikowanie sposobów przeprowadzenia zamachu/ataku i środków, które mogłyby zostać do tego wykorzystane;
- opracowanie koncepcji mobilnego, lądowego systemu hydroakustycznego przeznaczonego do wykrywania min morskich i ładunków wybuchowych zaimplementowanych na dnie basenów portowych;
- dokonanie porównania dostępnych urządzeń detekcyjnych pozwalających systemowi zrealizować założone cele.

Podstawową metodą badawczą służącą realizacji celu artykułu jest krytyczna analiza literatury przedmiotu i dokumentacji specjalistycznej (urządzeń hydrolokacyjnych i wybranego uzbrojenia) uwzględniająca wyniki obserwacji naukowej poczynione w trakcie kilkunastu lat pracy w Marynarce Wojennej, na pokładach okrętów podwodnych. Wskazana praca stanowi źródło niezbędnych informacji teoretycznych i umiejętności praktycznych związanych z obsługą sprzętu hydrolokacyjnego i uzbrojenia podwodnego, które wykorzystane zostaną do doboru właściwych środków detekcji względem określonych obiektów generujących zagrożenie.

Układ artykułu odzwierciedla przyjęte założenia i cele badawcze. Tekst składa się z części wstępnej, rozdziałów merytorycznych odpowiadających zakresem celom szczegółowym sformułowanym powyżej oraz części końcowej, w której zawarto podsumowanie i wskazano możliwe kierunki dalszych badań w tym obszarze.

1. SPOSOBY PRZEPROWADZENIA ATAKU/ZAMACHU

Wśród najbardziej prawdopodobnych sposobów przeprowadzenia ataku lub zamachu z kierunku podwodnego wymierzonych przeciwko infrastrukturze portów morskich wyróżnić można takie, które oparte będą na wykorzystaniu ładunków wybuchowych i min morskich (Rysunek 1).



Rys. 1. Prawdopodobne sposoby przeprowadzenia/wykorzystane środki ataku lub zamachu na infrastrukturę krytyczną polskich portów morskich pochodzące z kierunku podwodnego
Źródło: Opracowanie własne.

Niewątpliwie dno portów morskich stanowi doskonałe miejsce do implementacji takich środków i uzbrojenia. Moment stawiania jest trudny do uchwycenia, a po ustawieniu nie ma możliwości ich wykrycia bez użycia sprzętu specjalistycznego – nurkowego, hydroakustycznego, magnetometrycznego etc. Dodatkowo sprężystość ośrodka wodnego powoduje, że skutki detonacji takiej samej ilości materiału wybuchowego w wodzie są dużo poważniejsze niż w powietrzu. Ponadto miny morskie i materiały wybuchowe rozmieszczone na dnie zdolne są razić ważne elementy konstrukcji jednostek: stępka², wały napędowe i pędniki³, kingstony⁴ itd. Usytuowanie miejsca ewentualnego przebicia pod linią wody gwarantuje dostanie się jej do środka i uszkodzenie kolejnych urządzeń i mechanizmów

² Stępka to główna oś konstrukcyjna szkieletu jednostki pływającej stanowiąca podstawę wytrzymałości strukturalnej jej kadłuba.

³ Pędnik to urządzenie zamieniające energię dostarczoną z zewnątrz lub z silnika napędowego na siłę poruszającą jednostkę pływającą. Przykładami pędników są śruby napędowe ale również żagle.

⁴ Kingston to zawór w podwodnej części kadłuba. Może służyć do czerpania wody zaburtowej np. do chłodzenia mechanizmów.

oraz zmiany parametrów statecznościowych jednostki, których konsekwencją może być jej zatonięcie.

Zakłada się, że w celu przeprowadzenia takiego ataku lub zamachu wykorzystane zostaną przede wszystkim miny morskie denne lub improwizowane materiały wybuchowe. Dopuszcza się również, jednak z mniejszym prawdopodobieństwem, użycie min morskich kotwicznych lub konwencjonalnych materiałów wybuchowych. Z kolei niemal wyklucza się możliwość zastosowania min dryfujących.

Miny morskie to jeden z najbardziej efektywnych rodzajów uzbrojenia. W porównaniu z innymi są małe, tanie, łatwe do ukrycia przed niepożądanymi obserwatorami, łatwe w magazynowaniu i można je stawiać z każdego statku morskiego lub lotniczego, w porcie mogą również zostać postawione bezpośrednio z nabrzeża. Broń minowa stwarza poważne, zarówno fizyczne jak i psychiczne, niszczące (niebezpieczne) oddziaływanie na statki, okręty, ich załogi i pasażerów, niewspółmiernie duże w stosunku do kosztów jej budowy i eksploatacji (Kubiak, 2014, s. 33). Detonacja miny morskiej (w zależności od użytego zapalnika) może być wykorzystana zarówno do niszczenia jednostek, jak i fragmentów infrastruktury portowej. Wielkość ładunku materiału wybuchowego oraz ukierunkowanie jego energii (w części min) w połączeniu z niewielką głębokością akwatorium portowego i wzmożonym ruchem jednostek czynią jej ewentualne ustawienie realnym ze względu na poważne skutki. Miny kotwiczne mogą zostać wykorzystane w wariantach bez rozwinięcia liny kotwicznej lub z wydanym jej krótkim fragmentem, w zależności od głębokości miejsca implementacji. Z kolei ze względu na możliwość wykrycia wzrokowego min dryfujących prawdopodobieństwo ich użycia jest znikome, a jeśli nawet będzie miało miejsce, to nie potrzeba żadnych złożonych systemów w celu ich lokalizacji.

Przykłady wybranych polskich min morskich zaprezentowano na rysunku 2. Są nimi kotwiczna mina morska OD (masa 1065 kg), kotwiczna mina morska OS (masa 590 kg) i morska mina denna MMD-2 (masa 640 kg). Masy i rodzaje zastosowanego materiału wybuchowego podlegają ochronie, lecz wielkość masy całkowitej zaprezentowanych min w wystarczający sposób uświadamiają ich możliwości.



Rys. 2. Przykłady polskich min morskich, od lewej OD, MMD i OS
 Źródło: www.zoom.mon.gov.pl.

Na rysunku 3 zaprezentowano przykłady dennych min morskich, których kształt, budowa i zastosowane materiały mają utrudnić ich wykrycie. W tych dwóch przypadkach masa materiału wybuchowego nie ma aż tak dużego znaczenia, jak jego rodzaj i sposób ukierunkowania energii.



Rys. 3. Włoska mina denna Manta i Bułgarska mina denna PDM-250
 Źródło: www.thinkdefence.co.uk/manta-mine/; www.bdia-bg.com.

Siłę detonacji ładunku materiału wybuchowego znajdującego się pod powierzchnią wody ukazuje rysunek 4. Podczas ćwiczenia Open Spirit 2015 polski niszczyciel min ORP Mewa wykrył 111 min morskich pozostałych po I i II wojnie światowej (Zalesiński, 2015). Kontrolowanych detonacji dokonuje się w miejscu wykrycia (jeśli to możliwe), z wykorzystaniem materiału wybuchowego, przy zachowaniu niezbędnych warunków bezpieczeństwa. Duża odległość kontrolowanego wybuchu od jednostek morskiej walki minowej świadczy o jego sile.



Rys. 4. Kontrolowana detonacja miny morskiej z II wojny światowej przeprowadzona przez załogę niszczyciela min ORP Mewa podczas ćwiczeń Open Spirit 2015
Źródło: www.infomare.pl/open-spirit-2015.

W przypadku ładunków wybuchowych za bardziej prawdopodobne przyjmuje się wykorzystanie wariantów improwizowanych (rys. 5), niż konwencjonalnych. Obiekty ataku – jednostki i infrastruktura portowa – nie zostaną poważnie uszkodzone przez niewielkie ilości materiału wybuchowego znajdujące się np. w granatach, nabojach artyleryjskich itd. Zakłada się, że będą to duże pojemniki, a nawet pojazdy samochodowe wypełnione materiałami wybuchowymi. Dodatkowo środowisko działania wymusza zastosowanie niezbędnych środków uszczelniających i zabezpieczających przed dostępem wody oraz czasowych lub zdalnych (automatycznych lub ręcznych) zapalników, które czynią te ładunki wybuchowe improwizowanymi.



Rys. 5. Przykłady improwizowanych materiałów wybuchowych
Źródło: www.ndpci.us/training/ied-training.php.

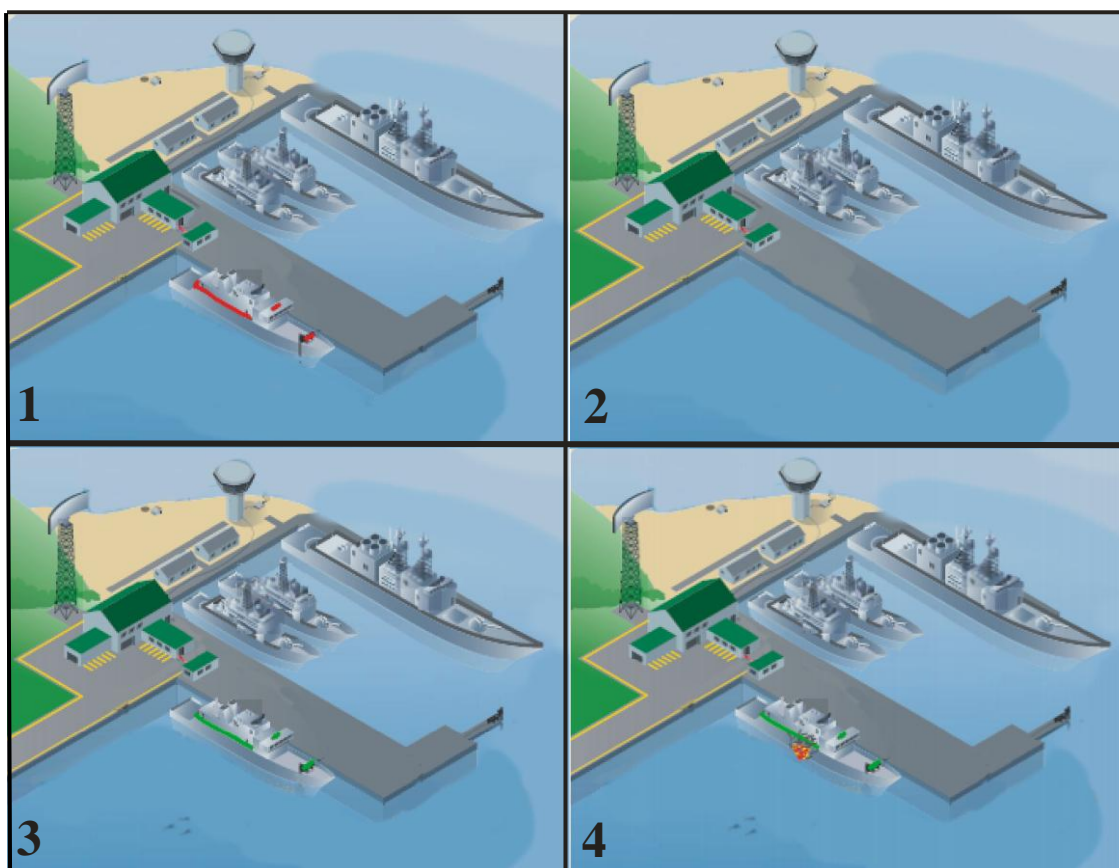
Środki, jakimi posłużyć się mogą przeciwnicy lub terroryści stanowią również wszelkie inne konstrukcje zawierające ładunek materiału wybuchowego, broń biologiczną, chemiczną, a niewykluczone jądrową, zdolne razić przewidywane dla nich cele (Hoenig, 2001, s. 92).

Do ich implementacji (postawienia) w ośrodku wodnym, w rejonie portu morskiego wykorzystane mogą być jednostki pływające poruszające się po tych akwenach. Mowa tu zarówno o dużych jednostkach handlowych, jak i o kutrach rybackich, jachtach, których załogi powiązane są z przeciwnikiem lub organizacją terrorystyczną. W przypadku portów morskich zadanie takie wykonane może być również z nabrzeża. Pojazd wypełniony odpowiednimi środkami rażenia z powodzeniem może zostać zatopiony, w miejscu przyszłego ataku, a fakt ten pozostać niezauważony. Miny morskie lub materiały wybuchowe mogą być również ustawiane z nabrzeży, mól, pirsów, falochronów, etc. Nasuwa się pytanie w jaki sposób mogłyby się na teren portu dostać? Otóż przeprowadzone obserwacje w portach w Gdańsku i Gdyni pozwalają konstatować, że najslabiej kontrolowany jest transport kolejowy, a wagony z ładunkami masowymi są niemal niesprawdzone. Z transportem samochodowym jest nieco lepiej. Te rozważania nie są zasadniczą częścią artykułu, więc nie zostaną rozwinięte. Natomiast możliwości ustawiania ładunków wybuchowych na dnie basenu portowego najdobitniej ukazuje przykład gdyńskiego nabrzeża pilotowego. W bezpośrednim sąsiedztwie kapitanatu portu, miejsca cumowania dużych jednostek pasażerskich oraz głowic przejściowych do większości miejsc postojowych gdyńskiego portu odbywa się niekontrolowany ruch pieszych, pokazywanie pociechom manewrujących jednostek oraz rekreacyjny połów rybek, itd. Obecność dużych wózków, plecaków, wiader i toreb nie zwraca niczyjej uwagi. Z pewnością wrzucenie ich do wody, po zmroku nie zostanie zauważone.



Rys. 6. Morska mina denną postawioną w miejscu cumowania statku pasażerskiego
Źródło: Opracowanie własne.

Najbardziej prawdopodobny przebieg rozważanego ataku lub zamachu zobrazony został na rysunku 7. W pierwszym etapie do portu wchodzi jednostka mająca wykonać atak/zamach (czerwona) i cumuje przy jednym z pirsów. Następnie niepostrzeżenie (np. po zmroku, gdy jest mniejszy ruch, itd.) z jej pokładu zostaje ustawiona mina morska lub zaimplementowany materiał wybuchowy. W drugim etapie jednostka (czerwona) opuściła port, a pozostawione przez nią uzbrojenie lub środki wybuchowe oczekują na swój cel lub moment ataku/zamachu. Etap trzeci stanowi wejście do portu jednostki celu (zielona) i zacumowanie w tym samym miejscu postoju, co jednostka przeciwnika/zamachowców. W etapie czwartym następuje zdalne lub czasowe zdetonowanie materiału wybuchowego pod jednostką celem. Przebiciu ulega jej kadłub, do wnętrza dostaje się woda i jednostka uszkodzona osiada na dnie basenu portowego. W efekcie wybuchu część nabrzeża, pirsu, mola może również zostać uszkodzona. Niezależnie od tego zatopiona jednostka uniemożliwia cumowanie i wyklucza pewną część infrastruktury portu z eksploatacji.



Rys. 7. Etapy przykładowego zdarzenia, którego skutkiem przeciwdziałać winien mobilny, lądowy system kontroli dna akwatoriów polskich portów morskich
 Źródło: Opracowanie własne.

Owszem, tego typu atakom i zamachom można przeciwdziałać czynnie, poprzez dokładne sprawdzanie jednostek i ich załóg, stały monitoring portów morskich, lub biernie, dokonując okresowo kontroli dna morskiego. Przeciwdziałanie czynne polegałoby na wyeliminowaniu możliwości implementacji środka rażenia przez przeciwnika lub terrorystów. Wiązałyby się z tym ogromne koszty wyszkolenia i angażu odpowiedniej liczby osób oraz oddania im w dyspozycję sprzętu. Zdecydowanie prostszym i tańszym jest przeciwdziałanie bierne, które sprowadza się do okresowej inspekcji dna morskiego i stwierdzenia, czy działanie przeciwnika lub terrorystów miało miejsce, czy też nie.

Zadanie to mógłby realizować Mobilny, lądowy system inspekcji dna akwatoriów polskich portów morskich, który wykonywałby okresowy monitoring dna basenów portowych zgodnie z przyjętym harmonogramem, a w przypadku postoju jednostki potencjalnie podejrzanej sprawdzałby jej miejsce postoju bezpośrednio po odcumowaniu.

2. KONCEPCJA MOBILNEGO, LĄDOWEGO SYSTEMU INSPEKCJI DNA AKWATORÓW POLSKICH PORTÓW MORSKICH

2.1. Podstawowe założenia

Na podstawie ogólnej charakterystyki polskich portów morskich można przyjąć, że⁵:

- system winien pracować poprawnie w zakresie głębokości od 1 m do 30 m,
- prawdopodobieństwo detekcji celu powinno być możliwie najwyższe między izobatami 4 m i 20 m,
- powinno być zapewnione prawidłowe działanie systemu przy temperaturze wody z zakresu od 0 °C do 40 °C oraz zasoleniu do 20 ‰,
- zakres temperatur powietrza, w których system ma pracować waha się od -30 °C do 45 °C,
- system powinien mieć możliwości przenikania swoją wiązką dna morskiego na określoną głębokość, tak aby obiekty lekko przysypane materiałem dennym w wyniku oddziaływania sił przyrody, a nawet celowo zakopane i ukryte w dnie morskim zostały przezeń wykryte,
- gęstość wody, dla jakiej winno być zapewnione poprawne działanie systemu w zdecydowanym stopniu wynika z jej zasolenia i temperatury.

Na podstawie porównania właściwości różnych aktywnych urządzeń echolokacyjnych oraz wykonanych obliczeń przyjęto, że stawiane przed systemem hydroakustycznym cele detekcji obiektów z materiałem wybuchowym zaimplementowanych na dnie, najlepiej zrealizują echosonda wielowiązkowa i/lub sonar z regulowaną częstotliwością pracy wraz z odpowiednim oprogramowaniem i urządzeniami peryferyjnymi.

2.2. Ogólna konfiguracja systemu

Mobilny, lądowy system inspekcji dna akwatoriów polskich portów morskich winien składać się następujących elementów:

- nosiciel;
- urządzenie detekcyjne:
 - przetwornik (antena);
 - jednostka odpowiedzialna za wykonywanie procesów;
 - jednostka operacyjna;
- urządzenia peryferyjne:

⁵ Wartości zostały oszacowane z uwzględnieniem niezbędnej nadwyżki.

- podsystem pozycyjny;
- wskaźnik przechyłów;
- podsystem informacyjny;
- miernik prędkości wykonywania pomiarów;
- miernik prędkości rozchodzenia się dźwięku w wodzie;
- chronometr.

2.3. Nosiciel

W niniejszych rozważaniach nosicielem jest platforma zapewniająca bezpieczny i uprawniony transport lądowy operatora/operatorów i wszystkich komponentów systemu, umieszczanie elementu zapewniającego pomiar w wodzie oraz dokonywanie pomiarów, postprocessing i upowszechnianie.

Powyższe kryteria spełnia homologowany pojazd dostawczy z podwójną przestrzenią osobową, odkrytą przestrzenią ładunkową i żurawiem dwuramiennym typu HDS⁶ (przykład na rys. 8), ze zmodyfikowanym zespołem napędowym umożliwiającym jednoczesny ruch pojazdu, pracę żurawia i zasilanie energetyczne urządzenia detekcyjnego i urządzeń peryferyjnych.



Rys. 8. Przykład nosiciela

Źródło: www.youtube.com/watch?v=aaAGfQdNtpo.

Homologacja pojazdu jest niezbędna do jego zarejestrowania i dopuszczenia do ruchu po drogach. Podwójna przestrzeń osobowa winna zapewniać:

- z przodu kierowanie pojazdem i transport operatorowi/operatorom;
- z tyłu ergonomiczne rozmieszczenie i obsługę jednostki odpowiedzialnej wykonywanie procesów, jednostki operacyjnej, punktów operatorskich urządzeń peryferyjnych oraz żurawia typu HDS.

Przeznaczeniem otwartej przestrzeni ładunkowej jest transport przetwornika, okablowania, zestawu części zamiennych, narzędzi i dokumentacji. Wszystkie wymienione

⁶ HDS – hydrauliczny dźwig samochodowy.

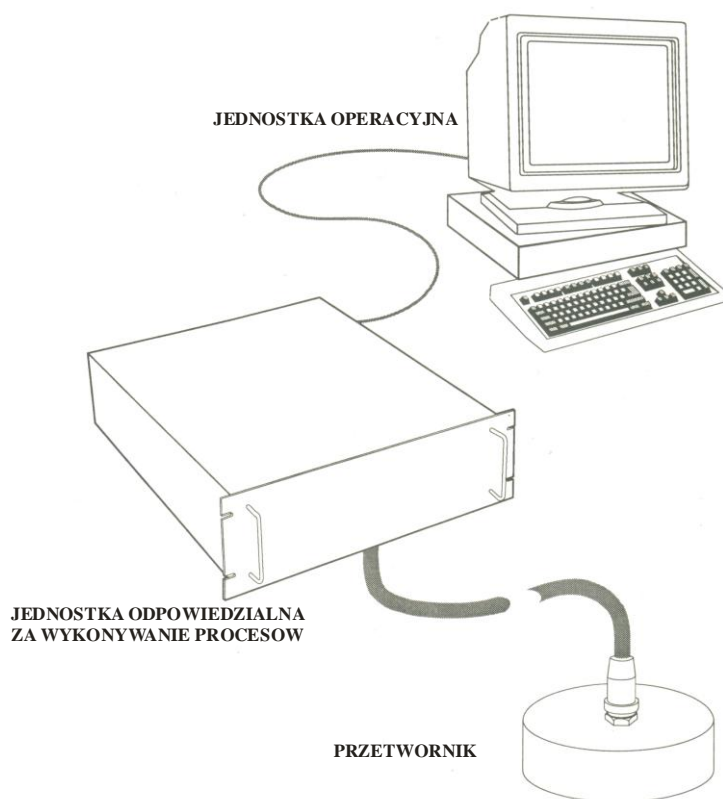
elementy winny być rozmieszczone w osobnych skrzyniach zapewniających klasę szczelności (stopień ochrony) IP 66⁷. Dodatkowym wymaganiem jest możliwość podłączenia przetwornika pod żuraw i jego podnoszenie/opuszczanie bezpośrednio ze/do skrzyni. Bęben z okablowaniem powinien być wyposażony w obracarkę i nawijak, sprzężone z automatyką żurawia, zapewniając wydawanie i wybieranie niezbędnej długości kabla.

Dwuramienny żuraw typu HDS powinien zapewniać bezpieczne i precyzyjne przemieszczanie przetwornika na odległość 15 m.

Na dachu pojazdu winny zostać zamontowane anteny odbiornika systemu pozycyjnego oraz łączności pozwalające prowadzenie korespondencji dwustronnej z dyspozytorem na zakresie FM oraz bezpośrednio przesyłanie pozyskanych danych podczas pomiarów.

2.4. Urządzenie detekcyjne

W skład zestawu urządzenia detekcyjnego wchodzi przetwornik, jednostka odpowiedzialna za wykonywanie procesów i jednostka operacyjna (rys. 9).



Rys. 9. Urządzenie detekcyjne – zestaw

Źródło: Opracowanie własne.

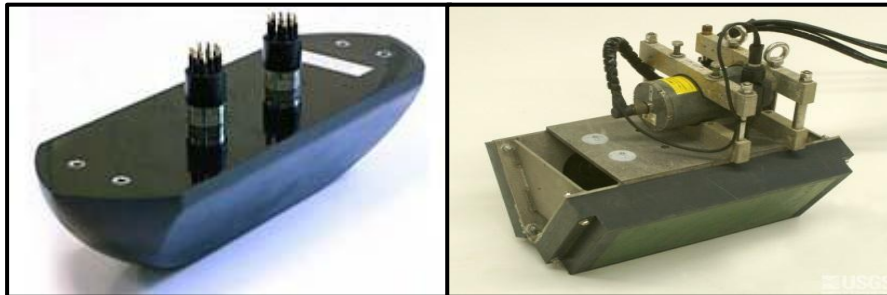
⁷ Klasa szczelności IP (ang. International Protection Rating) to stopień ochrony danego urządzenia przed wpływem czynników zewnętrznych. Oznaczenie stopnia ochrony IP (ang. IP Codes) składa się z liter IP i dwóch znaków, z których pierwszy oznacza ochronę przed wtargnięciem ciał stałych, a drugi ochronę przed szkodliwym wtargnięciem wody.

Z punktu widzenia jakości wykonywanych pomiarów przez systemy hydroakustyczne bardzo istotne są ich parametry i charakterystyki techniczne. Zwykle wpływają na nią poziom źródła, czułość odbiornika, poziom sygnału i szumów na wyjściu odbiornika, nadawcze i odbiorcze charakterystyki kierunkowe, czasy trwania sygnałów impulsowych, zniekształcenia modulacyjne i inne parametry zależne od rodzaju systemu oraz warunki propagacji fali istniejące w czasie i miejscu badań (Salamon, 2006, s. 48-56).

2.5. Przetwornik

Echosonda wielowiązkowa

Działanie echosondy wielowiązkowej polega na wykorzystaniu anteny (Rysunek 10) składającej się z około 100÷500 mniejszych przetworników spełniających jednocześnie zadania wysyłania sygnału hydroakustycznego i odbioru sygnału odbitego od echa. Przetworniki te są ułożone liniowo tworząc konfigurację krzyżową. Sektory działania pojedynczych przetworników wynoszą około $1,5^\circ$ wzdłuż oraz około 120° w poprzek, przy wysyłaniu wiązki. Natomiast przy jej odbiorze wynoszą około 30° wzdłuż oraz około $1,5^\circ$ w poprzek. Daje to całkowitą efektywność działania wiązki z jednego przetwornika w sektorze kątowym zbliżonym do $1,5^\circ$ na $1,5^\circ$. Kierunek wysyłania wiązki sygnału jest sterowany elektronicznie, co zapewnia kompensację występowania ewentualnych przechyłów wzdłużnych i poprzecznych anteny mogących w poważnym stopniu zniekształcać obraz dna poddawanego inspekcji, a tym samym zdecydowanie pogarszać poprawność działania systemu. Istotnym aspektem jest możliwość regulacji szerokości wiązki, gdyż niewielkie głębokości (odległości anteny od badanego dna) poważnie zmniejszają jego efektywność. Podczas standardowej pracy szerokość wiązki ma od 120° do 140° , co zapewnia optimum między wymaganą dokładnością, a określoną szerokością strefy przeszukiwania. Można ją rozszerzyć dla potrzeb przeszukiwania wstępnego (zgrubnego), którego celem jest wykrycie większych obiektów znajdujących się na dnie morskim bądź je stanowiących, tak by podczas mapowania właściwego zapewnić określone bezpieczeństwo nie tylko systemu, ale także jego użytkowników. Pożądana w niniejszych rozważaniach częstotliwość operacyjna echosondy wielowiązkowej powinna wynosić 300 kHz.



Rys. 10. Przykłady anten echosondy wielowiązkowej. Po lewej GeoSwath 4R firmy Kongsberg, po prawej BathymetrySystem firmy WHSC
 Źródło: www.km.kongsberg.com; www.woodshole.er.usgs.gov.

Sonar z regulowaną częstotliwością

Antena sonaru z regulowaną częstotliwością spełnia jednocześnie zadania wysyłania sygnału hydroakustycznego i odbioru sygnału odbitego od echa (Grządziel, 2004, s. 63). Sektor działania przetwornika zależy od częstotliwości pracy i wynosi od 1,2° do 2,4°. W tym przypadku kompensacja ewentualnych przechyłów wzdłużnych i poprzecznych anteny, a tym samym kierunek promieniowania wiązki nie są tak istotne jak dla echosondy wielowiązkowej. Pożądana częstotliwość operacyjna sonaru winna wynosić 675 kHz, z możliwością regulacji w zakresie od 600 kHz do 1200 kHz w 5 kHz krokach. Wówczas szerokość promieniowanej wiązki zależy od ustawionej częstotliwości. Odpowiednio dla 600 kHz, 675 kHz i 1200 kHz wynosi ona 2,4°, 2,1° i 1,2°. W zależności od odległości między przetwornikiem sonaru, a namierzonym obiektem uzyskać można rozróżnialność w kierunku (względem powierzchni dna morskiego) na poziomie 2 mm (odległość od 0,5 m do 4 m) lub 10 mm (odległość większa niż 5 m). Przeciętna rozróżnialność w odległości to 150 mm.

2.6. Urządzenie odpowiadające za wykonywanie procesów

Urządzenie odpowiedzialne za wykonywanie procesów przeznaczone jest do modelowania transmitowanego sygnału akustycznego, detekcję sygnału odbitego, kontrolę przetwornika anteny sonaru pod względem wzmocnienia, częstotliwość sondowania oraz kąt transmisji. Uwzględnia bieżącą, zmierzoną prędkość rozchodzenia się dźwięku w wodzie. Gromadzi informacje z sensorów peryferyjnych takich jak system pozycjonowania, wskaźnik przechyłów, urządzenie do pomiaru prędkości liniowej (możliwie względem dna) oraz chronometr. Zajmuje się również kontrolą poprawności pracy tych urządzeń, a w razie awarii sygnalizuje ją. Ogólnie w jego skład wchodzi nadajnik (generator/modulator,

wzmacniacz mocy, układy dopasowujące/formujące wiązkę) oraz odbiornik (układy dopasowania/formowania wiązek, układy wzmacniające z kompresją dynamiki/normowaniem). Komunikacja z jednostką operacyjną prowadzona jest za pomocą standardowego przewodu ośmiożyłowego.

2.7. Jednostka operacyjna

Jednostkę operacyjną stanowi komputer osobisty o wysokich możliwościach graficznych i obliczeniowych. Program służący do rejestracji, przetwarzania, zobrazowania i obróbki uzyskanych z pomiarów danych oraz kontroli poprawności pracy całości systemu, winien być zaimplementowany w języku pozwalającym na pracę w systemie operacyjnym ergonomicznym dla eksploatatora. Zapis danych powinien być prowadzony we właściwym standardzie, spójnym z wymaganiami bazy danych np. Centrum Operacji Morskich. Za pośrednictwem jednostki operacyjnej powinna odbywać się również dwustronna łączność bezprzewodowa z dyspozytorem, uwzględniająca przesyłanie wyników pomiarów w trakcie ich wykonywania oraz plików graficznych i tekstowych.

2.8. Urządzenia peryferyjne

W skład urządzeń peryferyjnych powinny wchodzić: podsystem pozycyjny, wskaźnik przechyłów, podsystem informacyjny, miernik prędkości wykonywanych pomiarów, miernik prędkości rozchodzenia się dźwięku w wodzie oraz chronometr. Dane ze wszystkich wymienionych wyżej urządzeń powinny być przekazywane do jednostki operacyjnej, poprzez którą część z nich trafiałaby do jednostki odpowiadającej za wykonywanie procesów.

2.9. Szczególne warunki pracy systemu

Przy wysokich częstotliwościach działania systemów hydrolokacyjnych, niezbędnych do wykrywania małych obiektów, bardzo istotne dla poprawności wykonywanych zadań są temperatura wody, zasolenie i spienienie wody (Salamon, 1990, s. 37). Przykładowo w wodach oceanicznych uzyskanie takiej samej dokładności mapowania, przy niskich i wysokich jej temperaturach, spada blisko 1,6 razy wraz ze wzrostem temperatury, przy pozostałych warunkach niezmiennych. W związku z ograniczoną wymianą wód z morzem, od którego akwatorium portowe oddzielone jest falochronami, a także stosunkowo małą jej objętością (mała głębokość), letnia temperatura wody w porcie jest wyższa niż poza nim. Zasolenie wody nie ma istotnego wpływu na dokładność pomiaru, lecz jego wzrost zdecydowanie pogarsza możliwości przenikania wiązką dna morskiego, a tym samym prawdopodobieństwo wykrycia obiektów w nim zakopanych maleje. Zależności te są prawdziwe zarówno dla echosondy wielowiązkowej, jak i sonaru z regulowaną

częstotliwością pracy. Spienienie wód jest wynikiem falowania samego w sobie oraz rozbijania się fal o elementy lądu lub infrastruktury. Jednym z celów budowy portów jest zapewnienie jednostkom bezpiecznego cumowania niezależnie od warunków hydrometeorologicznych, wobec czego falowanie, a tym samym spienienie wód mają charakter marginalny. Pamiętać należy o tym, że polskie porty morskie usytuowane są w strefie klimatów umiarkowanych – wody nie osiągają wysokich temperatur, a średnie zasolenie polskiej części Morza Bałtyckiego jest niskie i wynosi około 7‰. Zatem warunki środowiska są sprzyjające wykonywaniu pomiarów urządzeniami echolokacyjnymi.

W portach istnieje jednak jedno poważne ograniczenie efektywności pracy tych systemów, a jest nim niewielka głębokość portów morskich. W związku z tym, że działają one w pewnych sektorach kątowych, to wraz ze wzrostem odległości dna i obiektów na nim się znajdujących od anteny, następuje zwiększenie strefy opromieniowania.

2.10. Zapis informacji i postprocessing

Skalibrowany obraz dna morskiego uzyskany za pomocą echosondy wielowiązkowej i/lub sonaru z regulowaną częstotliwością pracy zapisywany jest w formacie cyfrowym (wektorowym) charakteryzującym się rozdzielczością zależną od wartości bezwzględnej różnicy odległości między głębokością dna i główki sonaru oraz od częstotliwości fali akustycznej, którą wykonano pomiar. Im owa różnica jest mniejsza tym rozdzielczość, a tym samym rozróżnialność (oczywiście w określonych granicach) jest większa. Zapisywane i odpowiednio przetwarzane powinny być również informacje dotyczące czasu (dzień, miesiąc, rok, godzina, minuta), współrzędnych geograficznych wykonywania pomiarów oraz prędkości rozchodzenia się dźwięku w wodzie. Te dane powinny być również wyświetlane na ekranie monitora eksploatatora systemu w czasie rzeczywistym. W ujęciu ogólnym zapis informacji i postprocessing dla pomiarów wykonanych echosondą wielowiązkową i sonarem o regulowanej częstotliwości pracy jest podobny. Jednak charakter uzyskanych na podstawie sondażu danych zmusza do zastosowania podczas ich obróbki innych narzędzi w postaci oprogramowania, a to z kolei podyktowane jest koniecznością posłużenia się zgoła różnymi aparatami matematycznymi (Loeser, 1992, s. 146).

Obraz dna morskiego wykonany przy pomocy echosondy wielowiązkowej przedstawić można jako mapę istniejących w określonych punktach głębokości. Łączy się je wówczas izoliniami. Zobrazowanie końcowe, np. trójwymiarowe, zależne jest od przyjętej metody obróbki graficznej pozyskanych danych. W przypadku sonaru z regulowaną częstotliwością pracy bezpośrednio na podstawie sondażu uzyskujemy obraz dna morskiego.

Należy zaznaczyć, że pomiar przeprowadzony echosondą wielowiązkową charakteryzuje się większą rozróżnialnością w odległości, natomiast dane sonaru z regulowaną częstotliwością pracy posiadają większą rozróżnialność w kierunku.

3. PORÓWNANIE URZĄDZEŃ DETEKCYJNYCH

Częstotliwości pracy echosondy wielowiązkowej i sonaru o regulowanej częstotliwości pożądane ze względu na portową specyfikę środowiska ich wykorzystania pokrywają się z parametrami dostępnymi na rynku urządzeń, które to z punktu widzenia realizacji celu tego artykułu są optymalne.

Porównując objętościowo dostępne na rynku przetworniki obu urządzeń wynika, że echosonda wielowiązkowa jest większa od sonaru z regulowaną częstotliwością pracy tylko o 1,4 raza. Natomiast szerokości wiązek obu urządzeń różnią się niemal 70 razy na korzyść echosondy wielowiązkowej. W zdecydowanym stopniu wynika to z częstotliwości pracy omawianych urządzeń hydroakustycznych. Te zaś z kolei podyktowane są zasadniczym ich przeznaczeniem. Echosonda wielowiązkowa służy przede wszystkim do pomiarów hydrograficznych. Jej zasada działania oparta jest na dokładnym pomiarze odległości między przetwornikiem, a dnem lub obiektami na nim się znajdującymi, za pomocą którego uzyskuje się dokładną głębokość przypisywaną do określonej pozycji. W ten sposób na podstawie wielokrotnych pomiarów uzyskuje się dokładną mapę dna. Tym samym możliwe jest zobrazowanie np. miny morskiej na nim leżącej. Sonar z regulowaną częstotliwością pracy pokazuje zaś, co na dnie się znajduje. Nie ulega wątpliwości, że zasada pomiaru w obu urządzeniach jest taka sama, lecz jego wynik ma nieco inne właściwości. Szukając odniesienia w powszechnie znanych dziedzinach można porównać sonar z regulowaną częstotliwością do „polaroida”, a echosondę wielowiązkową do aparatu cyfrowego. Nim otrzymamy zdjęcie w „cyfrowce” wykonywany jest szereg operacji na danych z aparatu. Jakość wykonanego zdjęcia zależy przede wszystkim od parametrów układu optycznego zastosowanego w tych aparatach, jednak czas potrzebny na jego wywołanie jest zdecydowanie krótszy w przypadku „polaroida”. Rolę takiego układu optycznego w obu urządzeniach odgrywa częstotliwość sondowania. Innym przykładem wyjaśniającym różnice w obrazach z sonaru o regulowanej częstotliwości i echosondy wielowiązkowej może być zupełnie ciemne pomieszczenie. W przypadku echosondy wielowiązkowej badamy jego zawartość wielokrotnie wchodząc doń z miarą i zdejmując kolejne wymiary z obiektów znajdujących się w nim, dalej nanosząc je (w określonej skali) w innym (oświetlonym) pomieszczeniu na kartkę papieru, tworząc w ten sposób pewien obraz

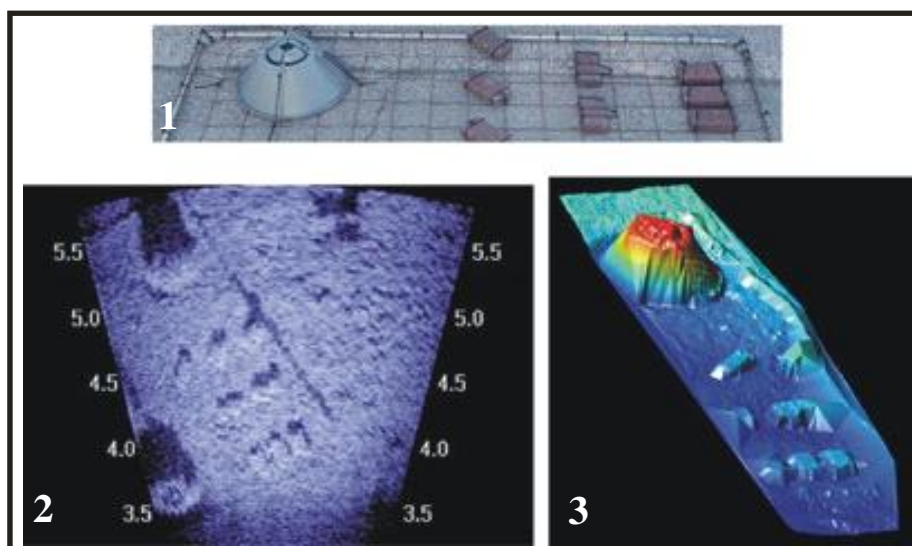
(dosyć dokładny). W przypadku sonaru o regulowanej częstotliwości weszlibyśmy do badanego pomieszczenia i na chwilę zapalili światło. Uzyskujemy, w krótkim czasie, wiedzę o tym, co się w tym pomieszczeniu znajduje i „mniej więcej” gdzie.

W tym kontekście sonar o regulowanej częstotliwości pracy wydaje się być urządzeniem lepszym. Problematyczną może się wydawać mała szerokość wiązki sonarowej. Rozwiązanie tego jest bardzo proste. Należy tak zmodyfikować kąty nachylenia listków głównych przetworników, by uzyskać obraz nie tylko spod anteny, ale również w innych kątach. Dokonać tego można poprzez zastosowanie mechanizmu obracania. Wówczas wiązka sonarowa nie będzie promieniowana tylko prostopadle w kierunku dna, ale również pod pewnym zadanym kątem do jego powierzchni. Zwiększa to efektywny pas pokrycia oraz redukuje czas potrzebny na sondaż danego akwenu. Ponadto możliwe jest zainstalowanie kilku zespolonych anten dokonujących jednoczesnego pomiaru w różnych kierunkach, co w znaczny sposób poprawi parametry efektywnościowe. Zastosowanie kilku sonarów o regulowanych częstotliwościach pracy zaprocentuje otrzymaniem wysokiej jakości obrazów w miarę szerokiego pasa dna morskiego.

Ponadto obsługa echosondy wielowiązkowej z punktu widzenia użytkownika systemu jest trudniejsza, niż sonaru bocznego z regulowaną częstotliwością pracy. Po pierwsze zobrazowanie powierzchni dna morskiego za pomocą echosondy wiąże się z odpowiednią interpretacją odległości między przetwornikiem, a poszczególnymi jego punktami. Tak bardzo ogólnie owo zobrazowanie można przedstawić jako mapę, na której podane są za pomocą cyfr arabskich jedynie głębokości (względnie wysokości). Nie ma na niej żadnych izolinii, kolorów – biała karta, a na niej same cyfry. Należy zatem rozważyć, w jaki sposób przetworzyć to na obraz dwu lub trójwymiarowy, dający możliwość łatwego porównania i wzrokowego rozróżnienia obiektów dna kształtujących bądź nań leżących. Metody rozwiązania tego problemu są różne. Nie sposób ich wszystkich wymienić i omówić, ponadto nie jest to celem tej pracy. Można jednak z pewnością stwierdzić, że przy zastosowaniu jednej metody tracimy walory innej. W tym świetle nie możliwa jest odpowiedź na pytanie, którą wybrać, by przypadkowo nie pominąć w zobrazowaniu obiektu, którego właściwie szukamy. Sprowadza się to do tego, że w zależności od sposobu ustawienia np. miny w ośrodku wodnym zastosowanie jednej metody może prowadzić do bardzo wyraźnego jej zobrazowania, innej do słabszego, a jeszcze innej do stwierdzenia, że tej miny tam w ogóle nie ma. Mowa cały czas o postprocessingu. Echosonda wielowiązkowa jest już w fazie samych pomiarów bardziej „wymagająca”. Jej eksploatacja musi być przynajmniej dobrym specjalistą z zakresu hydroakustyki. Mimo, że nowoczesne echosondy same na swoje

potrzeby mierzą profil prędkości rozchodzenia się dźwięku w wodzie, kompensują przechyły to obecność wyszkolonej obsługi jest niezbędna dla poprawności wykonywanych pomiarów. Nie zawsze pomierzony profil pokryje się z rzeczywistym, którego dokładnej rejestracji można dokonać tylko za pomocą urządzenia opuszczanego na zadaną głębokość.

Porównanie możliwości realizacji zadania monitoringu dna morskiego przez echosondę wielowiązkową i/lub sonar z regulowaną częstotliwością pracy wymaga zestawienia wyników sondażu przeprowadzonego za ich pomocą. W tym celu po wykonaniu konstrukcji ramowej z zamocowanymi na niej obiektami minopodobnymi (Rysunek 11 fragment 1) zaimplementowano ją w środowisku wodnym (w basenie portowym), w pewnym stopniu przysypując piaskiem. Następnie wykonano inspekcję dna morskiego za pomocą dwóch omawianych urządzeń hydroakustycznych. Po obróbce wyników pomiarów (dotyczy to szczególnie echosondy wielowiązkowej) uzyskano obrazy przedstawione na rysunku 11.



Rys. 11. Porównanie obrazów dna morskiego z leżącymi nań obiektami minopodobnymi. 1. Zdjęcie obiektów przed umieszczeniem w wodzie; 2. Obraz z sonaru z regulowaną częstotliwością pracy; 3. Obraz z echosondy wielowiązkowej. Źródło: opracowanie własne na podstawie www.soundwaves.usgs.gov/2004/10/staff3.html.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że najbardziej prawdopodobnym scenariuszem wykonania ataku lub zamachu z kierunku podwodnego, na infrastrukturę polskich portów morskich, jest wykorzystanie dennych min morskich lub improwizowanych ładunków wybuchowych, zaimplementowanych z pokładów jednostek pływających lub bezpośrednio z lądu. Mogą one bezpośrednio razić infrastrukturę portową, ale również uszkadzać jednostki pływające lub cumujące w porcie. Takie unieruchomienie statku lub okrętu w sposób pośredni wpływa negatywnie na możliwości przeładunkowe portu, gdyż może doprowadzić do wyłączenia z eksploatacji części jego infrastruktury. Wymienione

środki rażenia mogą dysponować szeroką gamą urządzeń inicjujących wybuch, począwszy od prostego zapalnika czasowego, przez odmiany zdalnie sterowane, po złożone, wieloczułnikowe, automatyczne podsystemy elektroniczne zaprogramowane na charakterystyki pól fizycznych określonej jednostki.

Jednym ze sposobów przeciwdziałania tak sprecyzowanemu zagrożeniu jest wykonywanie okresowych lub zleconych inspekcji dna basenów portowych, mających na celu wykrycie i zlokalizowanie obiektów niebezpiecznych usytuowanych na dnie. Prawdopodobnie najtańszym rozwiązaniem jest użycie hydroakustycznych systemów echolokacyjnych transportowanych i obsługiwanych z pojazdu lądowego. Opracowano wstępną koncepcję niezbędnego zestawienia sprzętowego wraz z ogólną procedurą działania wobec mobilnego, lądowego systemu inspekcji dna akwatoriów polskich portów morskich.

Na podstawie dostępnych aktywnych urządzeń hydroakustycznych przeznaczonych do lokalizacji obiektów w wodzie wybrano dwa rozwiązania pozwalające najlepiej wykonać założone zadania (echosonda wielowiązkowa i sonar z regulowaną częstotliwością pracy) oraz określono ich parametry techniczne pożądane w środowisku wodnym portów morskich. Dokonano ich porównania uwzględniając nie tylko ich efektywność, ale również łatwość obsługi i sposób zobrazowania.

W efekcie prowadzonych rozważań określono, że optymalnym rozwiązaniem będzie urządzenie detekcyjne w postaci sonaru (sonarów) z regulowaną częstotliwością, transportowane i obsługiwane z samochodu dostawczego wyposażonego w dwuramienny żuraw typu HDS, z podwójną przestrzenią osobową i otwartą przestrzenią bagażową. Urządzenia peryferyjne systemu powinny umożliwiać pomiar prędkości rozchodzenia się dźwięku w wodzie, prowadzenie dwustronnej łączności radiowej z dyspozytorem (głos i dane) oraz zapewniać aktualne współrzędne geograficzne anteny i dokładny czas pomiaru.

Zaproponowane rozwiązanie z pewnością jest najtańsze w zakupie i eksploatacji, jednak nie pozwala wykonywać kontroli dna w znacznych odległościach od nosiciela, a tym samym od lądu. Zadania te z powodzeniem mógłby wykonywać system inspekcji dna, którego nosicielem byłaby mała jednostka pływająca. Próba ograniczania kosztów i zwiększenia efektywności może być instalacja urządzeń detekcyjnych na małych jednostkach pływających, które zapewniają bieżącą działalność portu i poruszają się w jego basenach z dużą częstotliwością – pilotówki, motorówki kapitanatu portu i urzędu morskiego lub łodzie motorowe wylawiające nieczystości, co jednocześnie stanowi przyczynek do przeprowadzenia kolejnych badań i rozważań.

LITERATURA

- Gawrysiak, K. (2017). Zagrożenie infrastruktury krytycznej polskich portów morskich pochodzące z kierunku podwodnego, [w:] *Gospodarka materiałowa i logistyka* nr 12/2017, 250.
- Grządziel, A. (2004). Geometria sonaru bocznego – klucz do zrozumienia i interpretacji obrazów sonarowych [w:] *Przegląd morski* nr 7-8/2004, 63.
- Hoenig, M. (2001). *Superterroryzm biologiczny, chemiczny i nuklearny*. Warszawa: Bellona, 92.
- Kubiak, K. (2014). *Piractwo i terroryzm morski. Nowe wyzwania dla bezpieczeństwa morskiego*, Wrocław: Wydawnictwo Dolnośląskiej Szkoły Wyższej, 33.
- Loeser, H.T. (1992), *Sonar engineering handbook*, California: Peninsula Publishing, 146.
- Salamon, R. (2006). *Systemy hydrolokacyjne*, Gdańsk: Gdańskie Towarzystwo Naukowe, 48-56.
- Salamon, R. (1990). *Zarys szerokopasmowych przetworników hydroakustycznych* [w:] Zeszyty naukowe AMW, Gdynia, 37.
- Biuro Bezpieczeństwa Narodowego (2017). *Strategiczna koncepcja bezpieczeństwa morskiego RP*. Warszawa-Gdynia: Biuro Bezpieczeństwa Narodowego.
- www.bdia-bg.com (30.03.2018).
- www.infomare.pl/open-spirit-2015 (31.03.2018).
- www.km.kongsberg.com (30.03.2018).
- www.ndpci.us/training/ied-training.php (31.03.2018).
- www.soundwaves.usgs.gov/2004/10/staff3.html (01.04.2018).
- www.thinkdefence.co.uk/manta-mine/ (30.03.2018).
- www.woodshole.er.usgs.gov (30.03.2018).
- www.youtube.com/watch?v=aaAGfQdNtpo (01.04.2018).
- www.zoom.mon.gov.pl (16.03.2018).
- Zalesiński, Ł. (2015). *Rekord polskiego niszczyciela min*. [w:] *Polska zbrojna*, www.polska-zbrojna.pl/home/articleshow/16174?t=rekord-polskiego-niszczyciela-min (01.04.2018).