

*bezpieczeństwo jednostki pływającej,
podwodne improwizowane urządzenia wybuchowe,
detekcja obiektów podwodnych, obrazy sonarowe*

Artur CYWIŃSKI¹
Dariusz SZULC²

MONITORING PODWODNY NA POTRZEBY BEZPIECZNEGO POSTOJU STATKU W PORCIE - APLIKACJA, WYNIKI BADAŃ

Porty morskie wraz ze swoją szeroko rozbudowaną infrastrukturą są miejscami, które w dobie wzrostu działań asymetrycznych, są szczególnie narażone na różnego rodzaju ataki. Zakłócenia poprawności funkcjonowania tej infrastruktury prowadzić może do ogromnych strat w gospodarce morskiej. Realna groźba podłożenia ładunków wybuchowych w porcie wymusza potrzebę poszukiwania metod monitoringu dna basenu portowego. W artykule autorzy zaprezentowali taką właśnie ideę systemu monitoringu oraz przedstawili jej aplikacyjne rozwiązanie. System został przetestowany w basenie portowym z wykorzystaniem makiet improwizowanych urządzeń wybuchowych. Dla potrzeb takiego monitoringu opracowano metodykę poszukiwania i programy rozpoznawania obiektów. Cała praca wykonana została w ramach projektu badawczego własnego O N509 371034.

UNDERSEA MONITORING FOR THE NEEDS OF SHIP'S SAFE DOCKING IN HARBOUR -APPLICATION AND RESULTS OF RESEARCHES

In the age of increasing asymmetrical actions sea harbours along with their wide extended infrastructure are the places which are especially exposed for various kinds of attack. Any obstruction of functioning correctness of that infrastructure could lead to huge losses of the sea economy. The real threat of underlying the explosive devices inside the harbour area is forcing the need for searching of methods to monitor the sea-bottom of the harbour area. In the following article authors have presented such an idea of the system of monitoring and have presented its application solution. The system was tested in the dock basin with the usage of models of improvised explosive devices. The methodology of searching and application to recognizing the detected objects were developed for the needs of such monitoring. The researches were accomplished within the framework of research project O N509 371034.

¹ Akademia Marynarki Wojennej, Instytut Uzbrojenia Okrętowego, 81-103 Gdynia, ul. Śmidowicza 69, tel +48 58 626-28-74, e-mail: A.Cywiński@amw.gdynia.pl

² Akademia Marynarki Wojennej, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej, 81-103 Gdynia, ul. Śmidowicza 69, tel +48 58 626-29-50, e-mail: D.Szulc@amw.gdynia.pl

1. WSTĘP

Obecność Polski w strukturach NATO i szerokie uczestnictwo w misjach zewnętrznych (obronnych, stabilizacyjnych czy prewencyjnych) znacznie zwiększa prawdopodobieństwo ataków terrorystycznych na terenie naszego kraju. Tereny portów wraz ze swoją infrastrukturą oraz przylegające do nich przybrzeżne strefy takie jak redy kotwiczowiska czy tory podejściowe to miejsca szczególne o strategicznym znaczeniu dla poprawnego funkcjonowania gospodarki morskiej państwa.

Środki, jakimi posłużyć się mogą terroryści to szeroka gama konstrukcji zawierających ładunek wybuchowy, broń biologiczną czy chemiczną stanowiącą nierzadko o wiele większe spektrum zagrożenia. Do ich postawienia w wodzie, w rejonie portu morskiego lub kotwiczowiska, wykorzystane mogą być wszelkie jednostki pływające poruszające się po tych akwenach. Zasobnik wypełniony materiałem wybuchowym lub innym materiałem niebezpiecznym, z powodzeniem może zostać zatopiony w miejscu przyszłego postoju lub przejścia statku-celu, a fakt ten pozostanie niezauważony. Detonacja takiego ładunku nastąpić może w dowolnym momencie, w zależności od zamiaru sprawcy, z wykorzystaniem zapalnika czasowego lub zdalnego.

Problem ten nie dotyczy tylko naszego kraju. Już w 2001 roku na 22-giej sesji Zgromadzenia IMO podjęto decyzje o stworzeniu nowych środków ochrony statków i obiektów portowych. Zaowocowało to przyjęciem w następnym roku do Konwencji SOLAS 74 rozdziału XI-2 wprowadzającego Kodeks ISPS³ „Międzynarodowy kodeks ochrony statku i obiektu portowego” [1] [2]. Głównym zamierzeniem Kodeksu ISPS było stworzenie zasad i procedur współpracy załóg statków i obiektów portowych w celu identyfikacji i przeciwdziałania źródłom zagrożeń bezpieczeństwa związanych z aktami terrorystycznymi w obszarze transportu morskiego. Kodeks zawiera zasady oceny stopnia ochrony bezpieczeństwa, zarówno statków jak i obiektów portowych, wzory certyfikatów, jakie muszą posiadać eksploatowane jednostki oraz wymagania organizacji i monitoringu akwenów i obszarów lądowych w granicach portów morskich. Wytyczne zawarte w części A i B Kodeksu SPIS znalazły odzwierciedlenie w polskim prawie⁴, a Ustawa z dnia 4 września 2008 r. o ochronie żeglugi i portów morskich⁵ nakłada na administracje polskich portów obowiązek postępowania w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa pracy portu zgodnie z wymaganiami określonymi między innymi w Kodeksie ISPS. Punkt 14.2 Kodeksu zawiera wykaz działań niezbędnych do zapewnienia ochrony obiektu portowego. Wśród nich wymieniono między innymi monitorowanie obiektu portowego, włączając w to kotwiczowiska i miejsca cumowania.

2. SYSTEM MONITORINGU PODWODNEGO

W realizowanym projekcie założono, że możliwe będzie zapewnienie bezpieczeństwa żeglugi na torach podejściowych do portów oraz zagwarantowanie bezpieczeństwa postoju statków w portach. Rozwiązanie takiego zadania nastąpi w oparciu o skonstruowanie systemu monitoringu podwodnego (antyterrorystycznego), którego użycie pozwoli

³ISPS (International Code for the Security of Ship and of Port Facility).

⁴Oświadczenie Prezydenta RP opublikowane w Dzienniku Ustaw Nr 120, poz. 1016.

⁵Dziennik Ustaw Nr 171, poz. 1055 z 2008 r.

zminimalizować zagrożenie działaniami terrorystycznymi dla statków, ich załóg i pasażerów, przewożonego ładunku oraz infrastruktury inżynierskiej portu. W przypadku portów możliwe będzie nawet całkowite wyeliminowanie podwodnego zagrożenia dzięki systematycznemu i kompleksowemu prowadzeniu ich monitoringu. Zasięg detekcji oraz rozróżnialność obiektów leżących na dnie przy wykorzystaniu zaawansowanych jedno- i wieloczęstotliwościowych sonarów lub echosond wielowiązkowych pretendeje aplikację tych właśnie urządzeń do pozyskiwania danych pomiarowych.

Wykorzystanie nowoczesnych metod i technik analizy i obróbki danych pomiarowych, w połączeniu z wymienionym systemem akwizycji danych pomiarowych, pozwoliło na opracowanie nowego (pod względem użytecznym) systemu monitoringu realizującego zadania detekcji i klasyfikacji obiektów niebezpiecznych w obszarach torów podejściowych, kotwicowiska czy portów przy wykorzystaniu systemu hydroakustycznego.

W projekcie określono możliwości zastosowania cyfrowych metod interpretacji obrazu do wykrywania i klasyfikacji obiektów znajdujących się na dnie. Istotą problemu jest w tym przypadku porównanie obrazów sonarowych dna morskiego w celu monitoringu podwodnego pod kątem obecności obiektów niebezpiecznych.

Biorąc pod uwagę powyższe założenia i stawiając sobie za cel określenie możliwości zastosowania cyfrowych metod implementacji obrazu do wykrywania i klasyfikacji obiektów na dnie, w projekcie założono:

- ocenić możliwości użycia istniejącego systemu sonarowego do realizacji zadań związanych z monitoringiem podwodnym,
- zbudowanie bazy danych obiektów zalegających na dnie w oparciu o bazy sonarowe,
- rozszerzenie bazy obiektów o obiekty własne, wykonane z różnych materiałów, imitujące improwizowane urządzenia wybuchowe,
- opracowanie metodyki wykorzystania systemu pomiarowego w warunkach rzeczywistych dla określonego basenu portowego,
- wykonanie zautomatyzowanego systemu implementacji obrazów sonarowych z obrazami zgromadzonymi w sonarowej bazie danych.

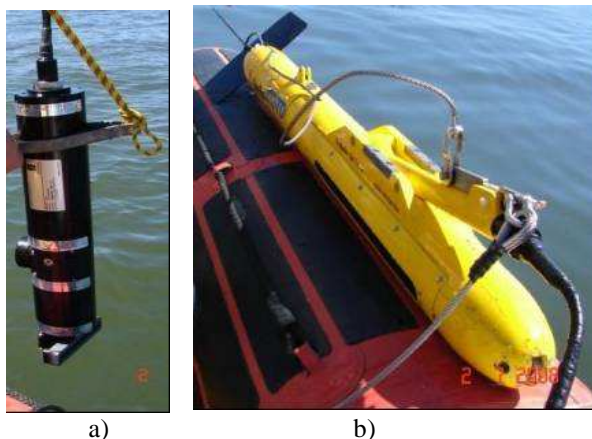
2.1 Aparatura pomiarowa -wymagania sprzętowe

Użyty do badań sonar musi zapewniać identyfikację wykrytych obiektów, a jeśli obiektu nie wykryto dawać pewność, że przeszukany rejon jest pozbawiony niepożądanych obiektów. Do poszukiwań założonych w pracy obiektów należy stosować fale ultradźwiękowe wysokiej częstotliwości (powyżej 300 kHz). Typowe echosondy i sonary (rybackie) pracujące w paśmie częstotliwości rzędu 30 ÷ 200 kHz nie są w stanie zlokalizować tego typu obiektów.

Do rejestracji obrazów sonarowych wykorzystano posiadane sonary: stacjonarny MS 1000 pracujący na częstotliwości 675 kHz oraz sonar holowany DF 272 TD pracujący na częstotliwości 390 kHz (rys. 1).

Instalacja odbiornika DGPS na pokładzie jednostki holującej sonar zapewnia precyzyjne pozycjonowanie jednostki w momencie pomiarów. Warto jednak zauważyć, że pomiary odbywają się bardzo blisko nabrzeży portowych, co może być dużą pomocą dla sternika prowadzącego jednostkę. Wykorzystanie obiektów na brzegu ułatwia sterowanie

i utrzymywanie wymaganych odległości od nabrzeży i innych charakterystycznych konstrukcji, w pobliżu których dokonywana jest inspekcja dna basenu portowego.



Rys.1. Sonary hydrograficzne wykorzystywane do monitoringu dna:
a) sonar opuszczany MS 1000 b) sonar holowany DF 272-TD – towfish

System sonarowy, oprócz przetwornika hydroakustycznego opuszczanego na kablolinie, zapewniającej zasilanie, przesyłanie sygnałów sterujących sonarem i danych pomiarowych, podłączony był do jednostki centralnej. Zawierając elementy sterowania pracą sonaru i zasilania jest ona podłączona do przenośnego komputera wyposażonego w oprogramowanie pozwalające obrabiać i archiwizować przesyłane obrazy. Informacje o pozycji jednostki pomiarowej przesyłane były do komputera za pomocą łącza RS-232C, w standardzie NMEA-0183⁶ z odbiornika GPS.

Podczas prowadzenia prac pomiarowych z sonarem holowanym korzystano z oprogramowania Discover 4100⁷ służącego do sterowania sonarem oraz rejestracji i odtwarzania danych sonarowych zapisywanych w formacie JSF lub XTF⁸. Obrazy z sonaru opuszczanego zapisywane są w plikach z rozszerzeniem SMB. Program MS 1000 obsługujący ten sonar pozwala również na zapis obrazów sonarowych, w celu wykorzystania ich w systemach geoinformacyjnych, w plikach BMP lub GeoTIFF, wraz z informacjami o położeniu geograficznym zarejestrowanego obszaru.

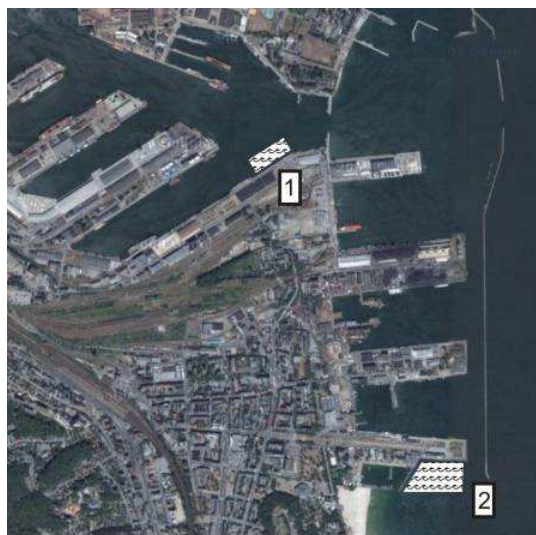
⁶ NMEA-0183 – standard transmisji danych w połączeniach morskich urządzeń elektronicznych, umożliwiający kompatybilność różnych urządzeń przesyłających pomiędzy sobą informacje.

⁷ Oprogramowanie w wersji 5.01 firmy EdgeTech, kompatybilnego ze wszystkimi systemami sonarowymi tej firmy umożliwia zobrazowanie danych sonarowych, ich analizę i post-processing.

⁸ XTF - format zapisu różnego rodzaju danych hydrograficznych oraz danych o położeniu akwenów, których te dane dotyczą.

2.2 Rejon badań i użyte obiekty

Prace pomiarowe prowadzono na akwenach będących częścią portu handlowego w Gdyni, w niewielkiej odległości od nabrzeży portowych, w takich warunkach, w jakich mogłyby być one wykonywane na potrzeby monitoringu podwodnego portu (rys. 2).









Rys.2. Rejony prowadzenia badań w porcie Gdynia: 1 - Nabrzeże Polskie, 2 - Falochron portu jachtowego

Po zaplanowaniu przebiegu profili pomiarowych dla sonaru holowanego oraz stałych punktów pomiarowych dla sonaru stacjonarnego, przystąpiono do pierwszego etapu prac. Polegał on na wykonaniu pomiarów i uzyskaniu obrazów sonarowych wybranego dna akwenu z wykorzystaniem obu rodzajów sonarów. Sonogramy te dostarczyły informacji o charakterze dna basenu portowego w danym rejonie i obecności zalegających na nim obiektów. Kolejny etap to zatopienie w tym samym rejonie basenu portowego przygotowanych wcześniej makiet - pojemników improwizowanych urządzeń wybuchowych i ponowne przeprowadzenie pomiarów sonarowych.

Należy podkreślić, że badane rejony portu czy torów podejściowych różnić się mogą między sobą zarówno architekturą podwodną jak i otoczeniem na powierzchni. Wymusza to opracowanie dla każdego z monitorowanych rejonów oddzielnej metodyki uwzględniającej indywidualne cechy otoczenia badanego rejonu.

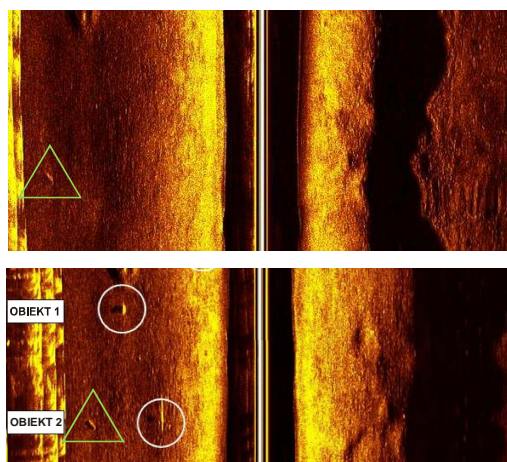
W przypadku działań asymetrycznych spodziewać się należy, że terroryści wykorzystywać będą powszechnie dostępne nie wzbudzające podejrzeń pojemniki wypełnione substancją wybuchową. Do badań wybrano zatem powszechnie używane na statkach zasobniki, skrzynie i pojemniki różnych rozmiarów i wykonane z różnych materiałów (tab. 1) [3, 4].

Tab. 1. Pojemniki na improwizowane urządzenia wybuchowe wykorzystane w badaniach

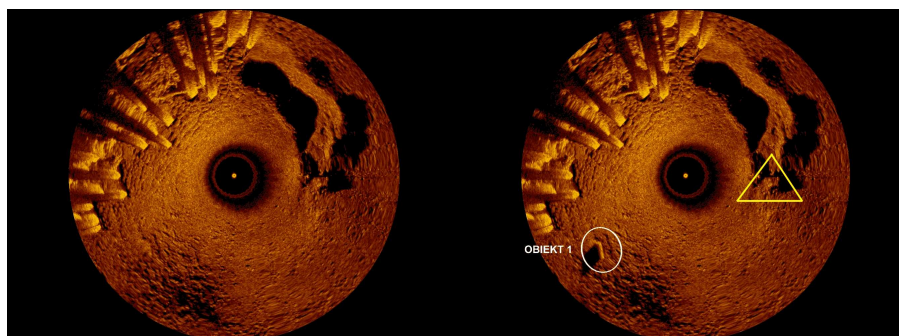
| | | | |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|--|
|  | Beczka mała do 31 kg TNT | Pojemnik metalowy do 40 kg TNT |  |
|  | Beczka duża do 84 kg TNT | Skrzynka mała do 18 kg TNT |  |
|  | Pojemnik rurowy do 10 kg TNT | Skrzynka duża do 100 kg TNT |  |

3. WYNIKI BADAŃ

Do analizy otrzymanych obrazów z monitoringu podwodnego zastosowano algorytm cyfrowej analizy obrazów sonarowych oparty o metodę porównawczą, pozwalającą wykrywać większość zmian zachodzących na dnie badanego akwenu. Analizę obrazów traktować należy jako proces dwuargumentowy, którego operandy to para obrazów. Obraz bazowy to obraz dna aktualizowany w bazie danych i stanowiący mapę do której dopasowywany jest analizowany fragment badanego obszaru dna basenu portowego. Przykładowe obrazy dna z obu typów sonarów przedstawiono na rysunkach 3 i 4.



Rys.3. Sonogram fragmentu dna basenu portowego, wraz z widocznymi obiektami (sonar holowany) Δ - stały obiekt na dnie służący jako naturalny punkt referencyjny



Rys.4. Sonogram fragmentu dna basenu portowego, wraz z widocznym obiektem (sonar opuszczany) Δ - z boczne na dnie służące jako naturalny punkt referencyjny

Analiza obrazowa jest możliwa tylko dzięki uwzględnianiu punktów referencyjnych (naturalnych lub sztucznych), charakterystycznych elementów dna, które występują na obrazie bazowym i pojawić się muszą na obrazie analizowanym. Taki warunek pozwala na wzajemne dopasowanie obrazów i poddanie je dalszej obróbce - porównaniu i określeniu położenia wykrytego obiektu.

Na podstawie współrzędnych obrazowych punktów referencyjnych możliwe jest wyznaczenie wzajemnych relacji między obrazami i dalsze dopasowanie oparte na transformacji przez podobieństwo realizowane poprzez obracanie, skalowanie i przesuwanie obrazów. Te przekształcenia geometryczne pozwolą przygotować obraz analizowany do nałożenia go i porównania z bazowym.

Algorytmy porównawcze to szereg procesów, w których można uwzględniać takie przekształcenia jak maskowanie, konwersję obrazu, filtr medianowy, odejmowanie tła, binaryzację obrazu, uwzględnianie odchyłeń obiektów itp.

Większość operacji wykonywanych w algorytmie porównawczym jest wizualizowana na poszczególnych etapach porównywania obrazów, a ich parametry mogą być modelowane przez operatora w dowolnym momencie całego procesu za pomocą kontrolki w panelu nastaw aplikacji.

4. PODSUMOWANIE

Prowadzone w ramach prac pomiarowych badania dowodzą, że wystarczające jest wykorzystanie do monitoringu podwodnego powszechnie u używanych w pracach hydrograficznych sonarów holowanych i opuszczanych. Muszą one jedynie pracować na częstotliwościach powyżej 300 kHz celem zapewnienia dobrej rozdzielczości sonogramów gwarantującej rozróżnialność małych obiektów (małe pojemniki jak w tabeli nr 1). Doświadczenia dowodzą, że ze względu na niewielką głębokość basenów portowych wykorzystanie sonaru holowanego wprowadza element ryzyka jego uszkodzenia przy zderzeniu z dnem. Pewnym rozwiązaniem może być sztywne mocowanie sonaru z kadłubem jednostki monitorującej.

Ze względu na różną infrastrukturę nabrzeży niemal do każdego basenu portowego trzeba opracować indywidualną metodykę monitoringu podwodnego, uwzględniającą jego budowę i infrastrukturę podwodną oraz otoczenie.

W przypadku korzystania ze sprzętu o parametrach nie gorszych niż w badaniach, nie przewiduje się konieczności stosowania do monitoringu podwodnego więcej niż jednego rodzaju sonaru (zbędna konieczność dublowania pomiarów).

Elementem wymagającym ciągłej modernizacji systemu powinien być software, który uwzględniał będzie coraz nowsze metody porównywania obrazów sonarowych oraz baza danych, uzupełniana o nowe obiekty.

Metodyka prowadzenia monitoringu przewiduje konieczność okresowego prowadzenia pomiarów danego rejonu (nawet jeśli obszar jest nie użytkowany) celem uaktualnienia obrazu dna, który może ulegać zmianom oraz położenia obiektów, które służyć mogą za punkty referencyjne. Podobne czynności należy przeprowadzać po jakichkolwiek pracach inżynierskich w danym rejonie (pogłębianie dna, przebudowa nabrzeża itp.).

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] International Maritime Organisation: *International Ship & Port Facility Security Code and SOLAS Amendments 2002*, 2003.
- [2] IMO: *Międzynarodowa konwencja o bezpieczeństwie życia na morzu, 1974 – SOLAS*, PRS S.A., Gdańsk 2006.
- [3] Cywiński A., Cichocki A.: *Szacowanie zagrożenia od improwizowanych ładunków wybuchowych (IED) dla jednostek pływających w portach morskich*, LOGITRANS 2009, Logistyka 3/2009.
- [4] Szulc D., Cichocki A., Chorzowska K.: *Improwizowane ładunki wybuchowe jako zagrożenie dla jednostek w portach morskich*, LOGITRANS 2009, Logistyka 3/2009.