

GRZĄDZIEL Artur¹
FELSKI Andrzej²

ZASTOSOWANIE TECHNIKI SONARU BOCZNEGO DO POSZUKIWANIA I ZOBRAZOWANIA OBIEKTÓW DENNYCH NA AKWENACH PORTOWYCH

W artykule przedstawiono wyniki prac pomiarowych prowadzonych na akwenu portowym. Celem przeprowadzonych testów było sprawdzenie w działaniu nowo skonstruowanego masztu do montażu sonaru bocznego oraz ocena zdolności detekcyjnych systemu pomiarowego.

USAGE OF SIDE SCAN SONAR TECHNIQUE FOR SEARCHING AND IMAGING OF UNDERWATER OBJECTS IN THE HARBOR AREA

The results of the sonar survey conducted in the harbor area have been presented in this paper. The aim of the testing was to verify in operation newly-built steel pole for the sonar towfish and to evaluate the performance of that sonar system.

1. WSTĘP

Piractwo, napady rabunkowe i terroryzm stały się plagą współczesnej żeglugi morskiej. Zagrożają one życiu załóg i pasażerów, bezpieczeństwu statków oraz prowadzą do utraty ich mienia i ładunków, a przez stosowanie okrucieństwa i przemocy, sięją powszechny strach i grozę. Zagrożenie przez terrorystów przerwania łańcucha transportowego w jakimkolwiek jego punkcie ma olbrzymie znaczenie gospodarcze. Waga podnoszonego problemu wynika ze znaczenia transportu morskiego, który w szacunkowej ocenie globalnych przewozów towarowych wynosi około 75% [1].

Akweny portowe wraz z przynależną infrastrukturą techniczną stanowią ważne ogniwo w zintegrowanych morsko-ładowych łańcuchach transportowych, a tym samym w międzynarodowych centrach logistycznych [2]. Wielorakie powiązania gospodarcze, przestrzenne i funkcjonalne pomiędzy portem a jego otoczeniem krajowym, regionalnym i miejskim powodują, że akwenty i tereny portowe są szczególnie narażone na wystąpienie zdarzeń naruszających ochronę. Ocena stanu ochrony portu i obiektów portowych powinna uwzględniać możliwe scenariusze potencjalnych ataków na port, obiekt portowy,

¹ Dywizjon Zabezpieczenia Hydrograficznego MW; 81-103 Gdynia, ul. Rondo Bitwy pod Oliwą, artola74@poczta.onet.pl

² Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej; 81-103 Gdynia; ul. Śmidowicza 69. A.Felski@amw.gdynia.pl

urządzenia, statki i infrastrukturę krytyczną, ze strony lądu, powietrza, wody i **spod wody**. Stanowią one będą podstawę identyfikacji zdarzeń, które wymagają zastosowania skutecznych operacyjnych i/lub fizycznych środków zaradczych, mających na celu zredukowanie ryzyka do akceptowalnego poziomu [3].

Ataki terrorystyczne spod wody mogą przybierać różnorodne formy. Tory podejściowe do portów, redy, kotwiczowiska i baseny portowe nie są monitorowane pod powierzchnią wody i mogą stać się bardzo łatwym celem działań terrorystycznych. Jedną z form działań terrorystycznych może być np. posadowienie na dnie min lub improwizowanych urządzeń wybuchowych w niewrażliwych miejscach akwenów portowych lub torów podejściowych i detonacja takiego ładunku z wykorzystaniem zapalnika czasowego lub zdalnego. Do postawienia min czy ładunków wybuchowych terroryści wykorzystują zamaskowane kutry, statki rybackie, upozorowane jachty sportowo-turystyczne operujące w dogodnym czasie, bez zbytecznego ryzyka. Identyfikacja takiego zagrożenia oraz wstępna ocena ryzyka pozwala na podjęcie właściwych decyzji i środków w celu eliminacji potencjalnych niebezpieczeństw jakie grożą jednostkom pływającym korzystającym z systemów rozgraniczenia ruchu, awanportów, obrotnic, kanałów i nabrzeży cumowniczych.

Intensywnie rozwijające się techniki monitoringu przestrzeni podwodnej mogą i są z powodzeniem wykorzystywane do oceny stanu technicznego zanurzonych elementów budowli portowych oraz kontroli „czystości” dna morskiego. Dzisiaj podwodne inspekcje wykonuje się w oparciu w klasyczne sensory i urządzenia pomiarowe tj, sonary boczne, echosondy wielowiązkowe i podwodne kamery video montowane na holowanych, zdalnie sterowanych lub autonomicznych pojazdach podwodnych [4].

Ochrona portów i akwenów portowych przed podwodnymi zagrożeniami stanowi obecnie ważny element bezpieczeństwa morskiego. Rozwój urządzeń i technik pomiarowych wykorzystywanych do identyfikacji i neutralizacji takich zagrożeń to tylko częściowe rozwiązanie problemu. Oczywistym wydaje się fakt, że prowadzenie stałej kontroli czystości dna jest konieczne i w pełni uzasadnione. Środki hydroakustyczne umożliwiają dostarczanie dużej ilości informacji o środowisku podwodnym bez konieczności angażowania zespołu nurków. W przypadku szczegółowej identyfikacji podejrzanego obiektu podwodnego możliwe jest również zastosowanie pojazdu ROV, bez konieczności narażania nurków na niepotrzebne ryzyko [5].

2. CEL PRAC POMIAROWYCH

Prace pomiarowe przeprowadzono w maju i czerwcu 2011r. w jednym z basenów portu Gdynia. Pomiarzy miały na celu przede wszystkim zebranie danych w trakcie hydroakustycznego przeszukania dna za pomocą sonaru bocznego w celu uzyskania informacji na temat obecności i rodzaju obiektów dennych. Kolejnym przeznaczeniem pomiarów było sprawdzenie w działaniu i ocena przydatności prototypowej konstrukcji aluminiowej łączącej (*na sztywno*) sonar z kadłubem jednostki pomiarowej. Badania dna miały również wykazać czy możliwe jest prowadzenie efektywnej operacji poszukiwania i lokalizowania min i obiektów minopodobnych MLO przy użyciu kutra manewrującego na akwencie płytkim i ograniczonym w płaszczyźnie horyzontalnej.

Celem przeprowadzonych badań było również wykrycie i zwymiarowanie przykładowych obiektów wykazujących cechy obiektu minopodobnego lub improwizowanego ładunku (urządzenia) wybuchowego. Ponadto prace testowe miały także

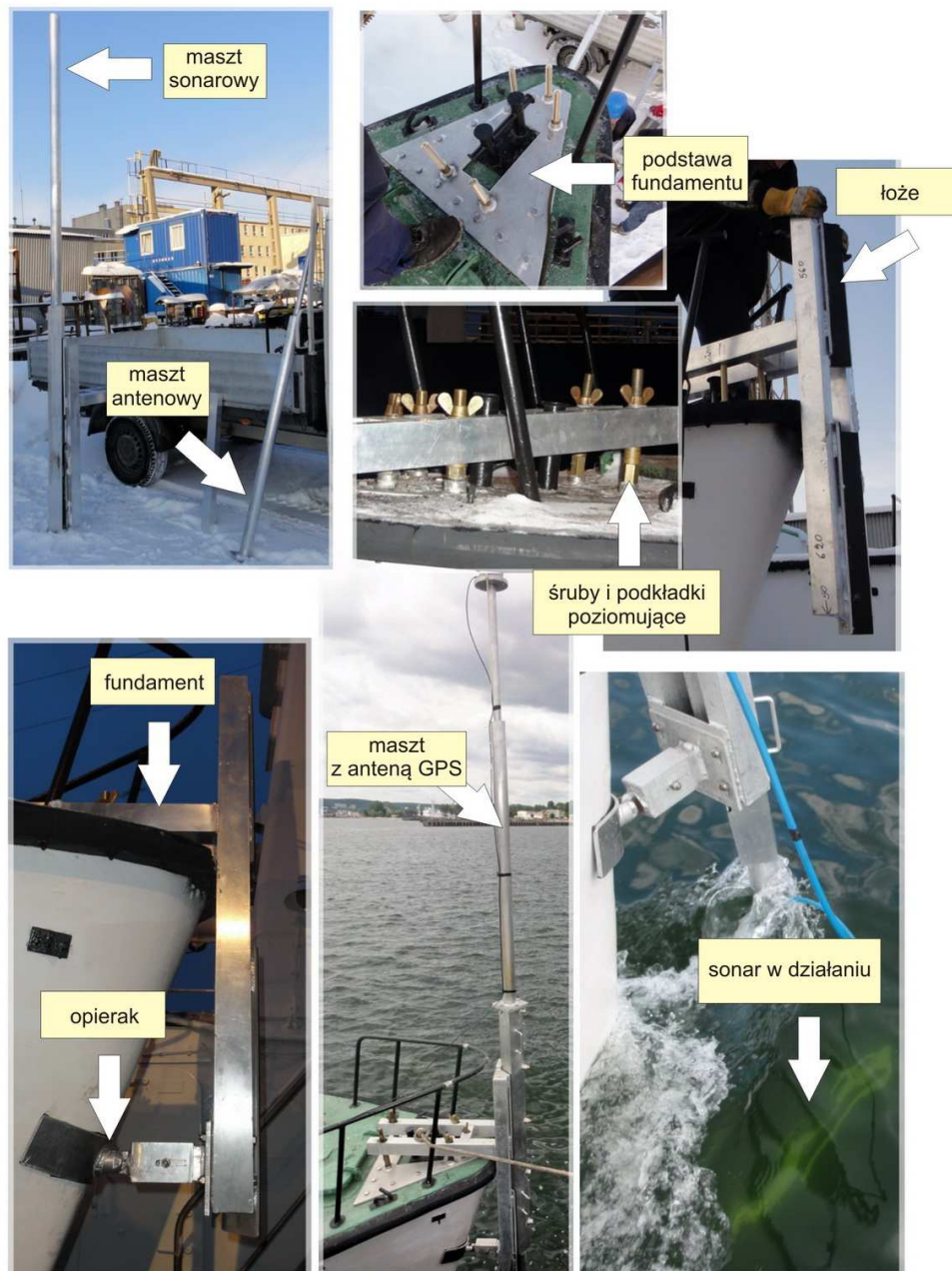
dostarczyć niezbędnego doświadczenia i doskonalić umiejętności w zakresie pomiarów. Badania zakończyły się oceną jakości zgromadzonych danych, identyfikacją pojawiających się problemów i ewentualną propozycją ich eliminacji a także wskazaniem sposobu zoptymalizowania procesu poszukiwania obiektów z wykorzystaniem skonstruowanego systemu pomiarowego. Przeprowadzone na tym etapie prace powinny w efekcie dać odpowiedź na pytanie: „...czy możliwe jest wykrywanie małych obiektów podwodnych tak skonstruowanym systemem pomiarowym i czy prowadzenie monitoringu (kontroli czystości) dna w granicach portu i wód przyległych z punktu widzenia bezpieczeństwa i ochrony portu jest celowe i w pełni uzasadnione?”.

3. POMIARY TESTOWE I WYNIKI BADAŃ

Przed przystąpieniem do rejestracji danych zaplanowano profile pomiarowe, po których przemieszczała się jednostka pomiarowa. Do przygotowania i zaplanowania sondażu w basenie wykorzystano oprogramowanie QINSy firmy QPS. Stworzono projekt i wprowadzono odpowiednie offsety dla sensorów. Ze względu na charakter i cel wykonywanych prac zaprojektowano 24 profile podstawowe o długości 220 m każdy, zorientowane 024°-204° i 6 profili kontrolnych o długości 200m każdy, zorientowane 115°-295°. Przy planowaniu siatki profili wzięto pod uwagę położenie nabrzeża, falochronów, pirsów, ukształtowanie dna morskiego oraz wymagania użytkownika (cel główny prac).

Prace prowadzone były z pokładu kutra o długości 9,30 m, szerokości 2,70m i zanurzeniu 0,65 m. W części dziobowej kutra zamontowano wcześniej zbudowaną konstrukcję aluminiową przeznaczoną do sztywnego mocowania sonaru bocznego. Konstrukcja ta składa się z podstawy, fundamentu, łoża, masztu antenowego i masztu sonarowego oraz odciągów napinających. Etapy budowy konstrukcji zaprezentowano na rys. 1. Na stałe do pokładu jednostki zamontowana jest podstawa, opierak, fundament wraz ze śrubami i podkładkami poziomującymi. Elementami przenośnymi są maszty i odciągi linowe. Sonar skręcany jest na dwóch śrubach motylkowych do jednego z końców masztu. Antenę GPS umieszcza się na szczycie drugiego masztu, który skręca się ze stopą masztu sonarowego. Maszt sonarowy może być instalowany w pionie w kilku położeniach, co pozwala operatorowi regulować głębokość zanurzenia sonaru. Maksymalne zanurzenie sonaru wynosi 2m poniżej lustra wody.

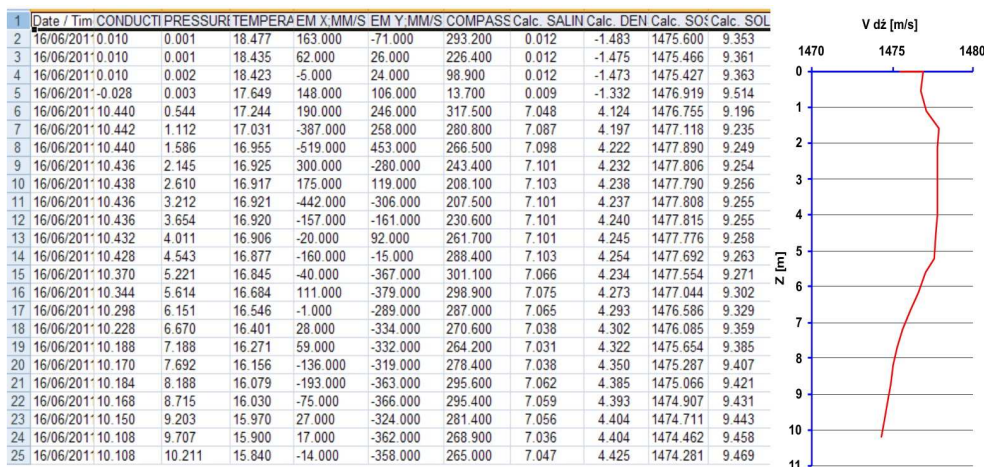
Przed rozpoczęciem pomiarów przeprowadzono kalibrację urządzeń hydroakustycznych. Za pomocą sondy CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) zmierzono prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej w basenie portowym, w którym zaplanowano przeprowadzenie testu. W pierwszym etapie przygotowano urządzenie do pracy dokonując pomiaru ciśnienia atmosferycznego oraz sprawdzono działanie wszystkich czujników. Następnie opuszczono miernik na dno jednostajnie i względnie z równą prędkością. Po wyciągnięciu urządzenia na powierzchnię wyniki pomiaru wyeksportowano do oprogramowania tworzącego pliki umożliwiające odczyt zbadanych parametrów wody morskiej. Ze względu na małe różnice głębokości, niewielki akwen oraz niedługi czas trwania testu parametr prędkości dźwięku w wodzie zmierzono jednorazowo. Po zarejestrowaniu profilu dźwięku zaimportowano wartości do oprogramowania echosondy i sonaru bocznego. Średnia prędkość dźwięku w wodzie wyniosła 1476,52 m/s.



Rys. 1. Etapy budowy dziobowej konstrukcji łączącej sonar z jednostką pomiarową

Temperatura przy powierzchni wody wynosiła 18,4°C, przy dnie na głębokości 10m - 15,8°C. Zasolenie w badanym akwenu wyniosło 7‰. Na rys. 2 przedstawione zostały w formie tabelarycznej wyniki badań hydrologicznych wody oraz pionowy rozkład prędkości dźwięku.

Po wprowadzeniu rzeczywistych wartości prędkości dźwięku rozpoczęto sondaż portowy ukierunkowany na poszukiwanie i lokalizowanie obiektów podwodnych za pomocą sonaru bocznego. Jednostka pomiarowa przemieszczała się po wyznaczonych profilach zorientowanych równolegle i prostopadle względem nabrzeży i pirsów. Wynośny monitor umożliwiał sternikowi precyzyjne manewrowanie kutrem po wybranych liniach profilowych. Pozycjonowanie pomiarów sonarowych możliwe było dzięki systemowi DGPS Hemisphere Seria R110. Odbiornik ten dzięki prostemu interfejsowi i solidnej konstrukcji stanowi idealne rozwiązanie dla klasycznych pomiarów hydrograficznych. Dane sonarowe rejestrowano przy użyciu sonaru bocznego Klein 3900 połączonego „na sztywno” z kadłubem za pomocą prototypowej konstrukcji aluminiowej umiejscowionej w części dziobowej kutra. Sterowanie, kontrolowanie i wizualizację dna realizowano z poziomu dedykowanego programu *SonarPro*. Dane sonarowe zapisywane były do pamięci komputera przenośnego w specjalnym formacie z rozszerzeniem *.sdf.

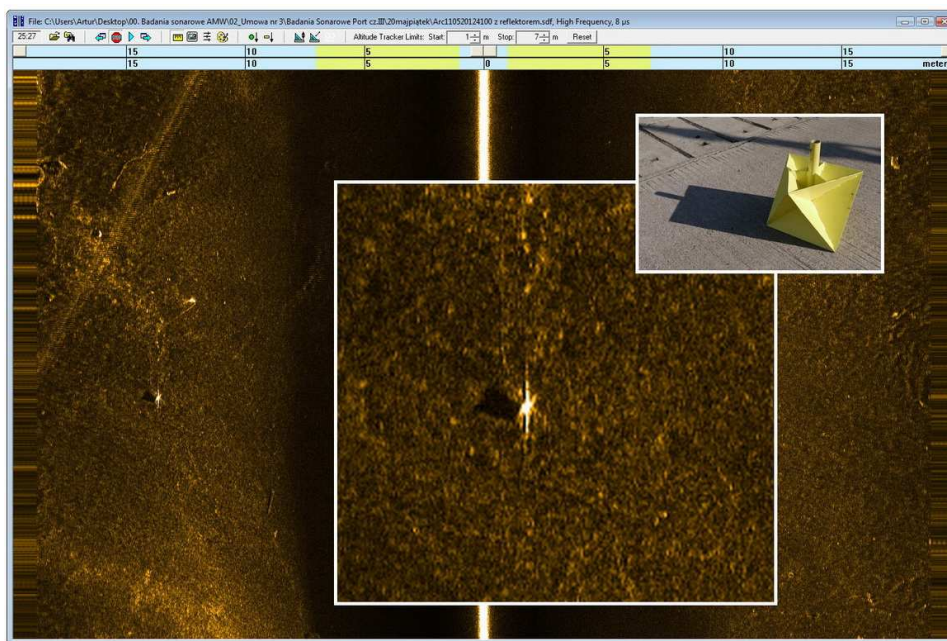


Rys. 2. Wyniki pomiarów hydrologicznych wody oraz pionowy rozkład prędkości dźwięku

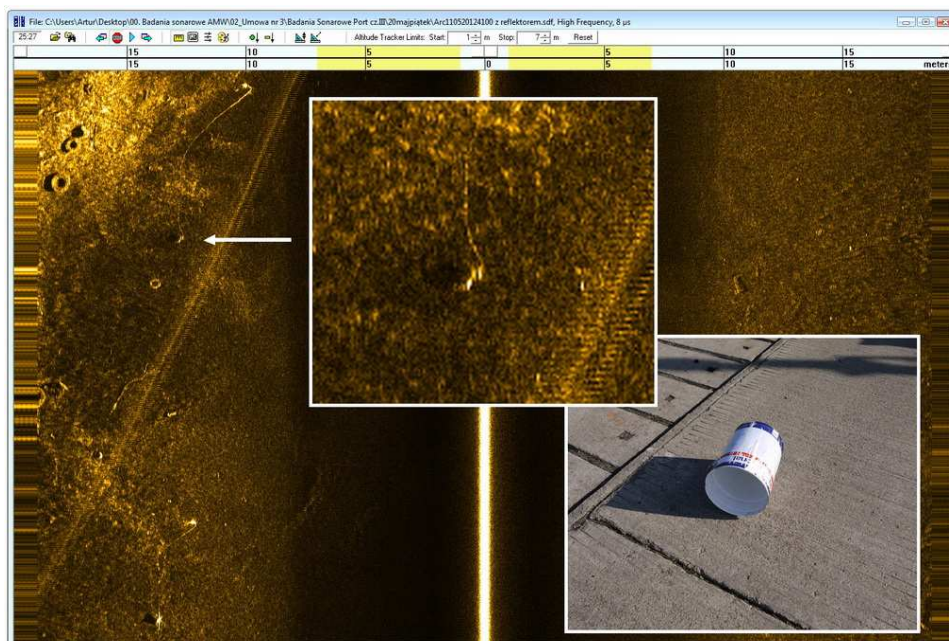
Na początku wykonano zapis obrazu dna na częstotliwości 455 kHz i zakresie 50 m. Sonar miał problem z detekcją pierwszego odbicia od dna (*first bottom return*), co na etapie przetwarzania danych skutkuje generowaniem błędów np. w procesie wymiarowania wykrytych obiektów czy określania odległości. Dodatkowo zauważalne były zakłócenia pochodzące od falowania powierzchniowego (rys.5). Zakłócenia pochodzące od powierzchni wody wynikają z faktu, że w kolumnie wody sonar znajduję się bliżej lustra wody aniżeli płaszczyny dna. Ponadto charakterystyka kierunkowa promieniowania przetwornika sonaru bocznego i jego wysokość nad dnem sprawiają, że ww. zakłócenia mają istotny wpływ na jakość obrazu sonarowego. Sonar poruszał się 2 m pod

powierzchnią wody i około 6 m do 8 m nad dnem. Zmiana częstotliwości na 900 kHz nie poprawiła jakości rejestrowanych danych. Obrazy sonarowe były „rozmyte” i nieostre co efekcie ograniczało możliwości detekcji obiektów podwodnych. Rzeczywisty obraz dna był „przykrywany” obrazem sonarowym powierzchni wody i znikomego falowania. W trakcie prowadzenia testów pogoda była bezwietrzna a woda w basenie spokojna. Warunki takie powinny umożliwić pozyskanie dobrego materiału badawczego. W celu poprawy jakości rejestrowanych danych w kolejnych dniach testu zmieniono charakterystykę kierunkową przetwornika sonaru obniżając oś główną listka promieniowania o 5 stopni w dół (w kierunku dna) ustawiając ją na -20° . Takie ustawienie w pewnym stopniu zmniejszyło oddziaływanie powierzchni wody na zapis sonarowy i poprawiło możliwości detekcji dna (*first bottom return*). Powyższe tezy zostały potwierdzone w działaniu a efekty widoczne były na niektórych ujęciach sonarowych.

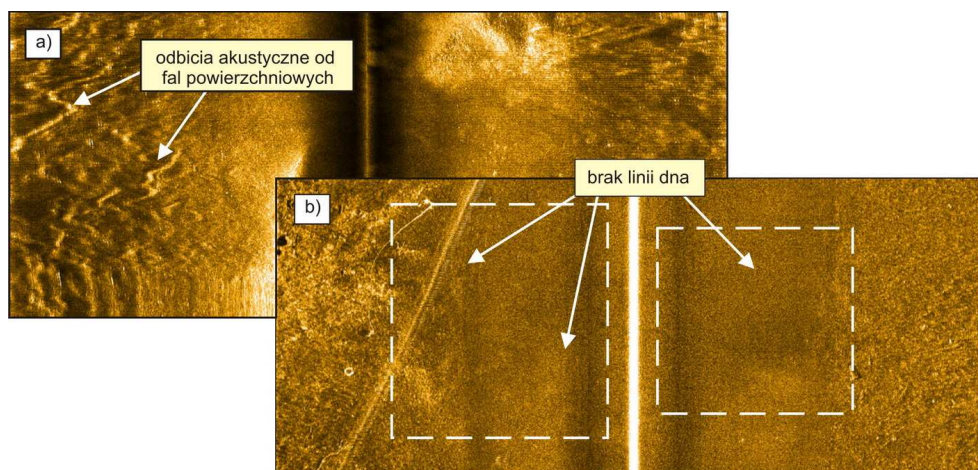
W celu sprawdzenia i oceny zdolności detekcyjnych testowanego systemu na dnie basenu umieszczono 2 obiekty a miejsca wystawienia oznakowano pławkami. Pierwszym obiektem był reflektor radarowy o rozmiarach 42cm x 42cm x 38cm, drugim natomiast pojemnik 20 l po farbie o wymiarach 30cmx61cm. Obiekty spoczęły na głębokości 10m w odległości od siebie 11-12 m. Zarówno pierwszy jak i drugi zatopiony obiekt został wykryty przez sonar dając wyraźne echo akustyczne. Na zdjęciach tych oprócz ech pochodzących od samych obiektów widoczne są również odbicia akustyczne od linki w toni wodnej oraz małej pławki unoszącej się na wodzie co świadczy o dobrych właściwościach detekcyjnych systemu (rys. 3, rys. 4)



Rys. 3. Obiekt podwodny o wymiarach 42cmx42cmx38cm wykryty na głębokości 10m



Rys. 4. Obiekt podwodny o wymiarach 30cmx41cm wykryty na głębokości 10m



Rys. 5. Zdjęcia sonarowe dna ukazujące wybrane problemy badawcze
(a) zakłócenia od fal powierzchniowych, (b) brak detekcji linii dna – first bottom return

4. WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Testy nowego systemu pomiarowego bazującego na sonarze bocznym jako głównego środka do wykrywania i lokalizowania obiektów podwodnych wykazały, że:

1. W akwenu ograniczonym w płaszczyźnie pionowej i poziomej (basen z głębokościami 7-10 m, nabrzeżem, falochronem, itp) jednostka o długości 9 m może swobodnie manewrować, wykonywać zwroty i realizować pomiary.
2. W trakcie pomiarów okazało się, że przy prędkości sondażu $V=3$ w maszt antenowy (z anteną GPS) poddawany jest drganiom wywołującym duży hałas i prawdopodobnie mającym wpływ na jakość rejestrowanych danych. W celu uniknięcia tego zjawiska, w kolejnych etapach badań antenę GPS należałoby montować bezpośrednio na stopę (górną część) masztu sonarowego.
3. Przy ustawianiu fabrycznym charakterystyki kierunkowej przetwornika sonaru w płaszczyźnie pionowej (-15°) odczuwalne jest silne oddziaływanie powierzchni wody na zapis obrazu sonarowego. W konsekwencji zdolność sonaru do wykrywania obiektów dennych może być obniżona. Wstępne próby zmiany charakterystyki przyniosły pożądane efekty. Proponuje się wykonać następne próby przy kątach obniżenia wiązki sonarowej -20° i -25° .
4. Odciągi z linki stalowej przeznaczone do wybrania luzów, naciągnięcia masztu sonarowego do łoża i eliminacji drgań całego zestawu należy zamienić na odciągi z linki włókiennej, bardziej elastycznej i rozciągliwej.
5. W celu dokładnego przylegania masztu sonarowego do łoża należy wykonać dodatkowy otwór w łożu, tuż przy powierzchni wody, aby zwiększyć rozstaw śrub mocujących profil. W ten sposób uzyskamy równomierny rozkład sił dociskających maszt sonarowy do łoża.
6. Najbardziej użyteczne zakresy pracy sonaru to 20 m i 30 m ustawione na częstotliwości 900 kHz. W celu wykonania szybkiej oceny i wstępnego rozpoznania sytuacji podwodnej można stosować zakres 50 m i częstotliwość sygnału 445 kHz.
7. Należy zwrócić szczególną uwagę na wykonywanie hydroakustycznych przeszukiwań dna w narożnikach portowych, miejscach połączeń nabrzeży i pirsów lub falochronów. Stosowanie klasycznego sposobu badania z użyciem sonaru bocznego zamocowanego na sztywno z jednostką pomiarową nie będzie skuteczne. Manewrowanie w takich miejscach sprowadza się do wykonania zwrotu. Obraz sonarowy rejestrowany na zwrocie czy cyrkulacji jest silnie zniekształcony i całkowicie bezużyteczny. Zaleca się aby w miejscach takich wykorzystać inny środek do poszukiwania np. opuszczany sonar dookólny, pojazd ROV czy kamera podwodna lub w ostateczności nurek.

W wyniku przeprowadzonych testów przy użyciu nowo skonstruowanego systemu pomiarowego zarejestrowano zarówno dane sonarowe jak i batymetryczne. Zespół wykonujący badania zebrał cenne doświadczenia i wnioski na kolejne etapy prac. Należy jednoznacznie stwierdzić, że tak zaprojektowany system może z powodzeniem być wykorzystywany do hydroakustycznego przeszukiwania dna w akwenach portowych. Prowadzenie monitoringu podwodnego w postaci systematycznych kontroli czystości dna wybranych, newralgicznych punktów jak np. miejsca cumowania i postoju jednostek jest w pełni uzasadnione i powinno być realizowane przed odpowiednie służby Straży

Granicznej, Marynarki Wojennej, Administracji Morskiej lub inne instytucje dysponujące wykwalifikowanym personelem i specjalistycznym sprzętem pomiarowym.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Walczak A.: *The possibility of a terrorist threat to ships and ports*, XIV International Scientific and Technical Conference, Naval University of Gdynia, 2004.
- [2] Forkiewicz M., Tubielewicz A.: *Management of seaport critical infrastructures of integrated sea-land transport chains* (w:) Fertsch M., Stachowiak A. (eds.): *Problems of transport logistics*. Poznań University of Technology, Poznań 2010, s. 111–128.
- [3] Tubielewicz A., Forkiewicz M., Kowalczyk P.: *Assessment of port facilities security in crisis management*. Polish Journal of Environmental Studies, vol. 19, no 4A, 2010, s. 111–114.
- [4] Espen P. Hagen, Dr Even Borhaug, Oivind Midtgaard: *Pipeline inspection with interferometric SAS*, Sea Technology, June 2010, ISSN 0093-3651, s. 37.
- [5] Feulner M., Martincich R., *Using Micro-ROVs for the Inspection of Underwater Mines*, Sea Technology, March 2010, ISSN 0093-3651, s. 21.