

GRZĄDZIEL Artur¹
FELSKI Andrzej²

Optymalizacja techniki użycia systemu sonarowego do realizacji pomiarów w basenie portowym

*optymalizacja,
sonar boczny,
basen portowy,*

Streszczenie

Artykuł przedstawia techniczne aspekty optymalizacji hydroakustycznego poszukiwania obiektów podwodnych za pomocą sonaru bocznego. Zwrócono w nim uwagę na możliwości mocowania sonaru do jednostki portowej. Przedstawiono przykłady platform pomiarowych przeznaczonych do wykonywania badań na akwenach portowych.

OPTIMIZATION OF THE SONAR SYSTEM USAGE FOR SURVEY PERFORMED IN HARBOUR BASIN

Abstract

The paper presents technical aspects of the optimization of the side scan sonar survey. Special attention was paid to the possibilities of mounting of the sonar to the survey boat. Examples of the platforms designed for conducting of survey in harbour area were presented in the paper.

1. WSTĘP

Z roku na rok obserwuje się wzrost wielkości przewożonych towarów oraz wzrost przewozów pasażerów drogą morską. Zmieniają się konstrukcje i właściwości manewrowe statków morskich i oceanicznych. Wraz z rozwojem handlu morskiego rosną zagrożenia zwłaszcza ataków terrorystycznych na takie obiekty jak porty handlowe, terminale przeładunkowe, gazoporty, platformy wiertnicze, zapory wodne i elektrownie jądrowe. Dlatego coraz częściej miejsca takie zabezpiecza się wielostrefowymi systemami ochrony wykorzystującymi aktywne i pasywne systemy sonarowe [1]. W warunkach portowych występuje wyjątkowo duża łatwość oddziaływania na instalacje okrętowe i kadłub nawet niewielkimi ładunkami wybuchowymi. Ładunki takie mogą być w łatwy i skryty sposób wyrzucane (podrzucone) z każdego niemal środka pływającego poruszającego się po tym akwenu. Dlatego dla zachowania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa konieczne staje się prowadzenie podwodnego monitoringu dna akwenów portowych ukierunkowanego na wykrywanie i weryfikowanie wszelkich obiektów minopodobnych i innych stwarzających zagrożenie wybuchem. Terroryci wykorzystują różnorodne środki do ataków poczynając od różnych konstrukcji zawierających ładunek materiału wybuchowego poprzez broń chemiczną i biologiczną umieszczoną w pojemnikach o różnych rozmiarach i kształtach. Zrzucenie takiego pojemnika (ładunku) można dokonać bezpośrednio z nabrzeża portowego w miejscu postoju statku będącego celem ataku.

Akweny portowe, tory wodne Marynarki Wojennej oraz trasy żeglugowe powinny być kontrolowane hydroakustycznie pod kątem występowania możliwych obiektów minopodobnych MLO (*mine-like object*) oraz improwizowanych ładunków wybuchowych IED (*improvised explosive device*). Dzisiejsze systemy sonarowe, cechujące się wysoką rozdzielnością, umożliwiają wykrycie niebezpiecznych obiektów podwodnych o niewielkich rozmiarach. Swoistym wyzwaniem wydaje się problem klasyfikacji celów jako „nowe” (nieznane) zalegające na dnie zanieczyszczonych kanałów wodnych w basenach portowych. Małe obiekty takie jak np. włoska mina Manta, uznawana niegdyś za niewykrywalną, obecnie może być wykryta przez sonary wysokiej rozdzielczości. Problem detekcji obiektu podwodnego, który stanowi zagrożenie (niebezpieczeństwo) nie ogranicza się dzisiaj do pytania „czy cel będzie wykryty” lecz do pytania „czy cel będzie rozpoznany”?

Prowadzenie operacji poszukiwania obiektów podwodnych w akwenach portowych jest przedsięwzięciem wymagającym. Zespół wyznaczony do wykonania takich badań powinien wybrać najbardziej efektywny sposób realizacji takiego zadania. Operacje powinny być dokładnie zaplanowane i skutecznie przeprowadzone. Trudność użycia urządzeń pomiarowych w akwenach portowych wynika przede wszystkim z dostępności takiego akwenu, który ograniczony jest pod względem powierzchni jak i głębokości przy jednoczesnym dużym natężeniu ruchu. Istnieje zatem potrzeba zoptymalizowania tak techniki jak i metodyki poszukiwania i lokalizowania obiektów podwodnych zalegających na dnie akwenów portowych. W artykule przedstawiono wybrane aspekty optymalizacji techniki użycia systemu sonarowego w procesie poszukiwania obiektów zalegających na dnie basenu portowego.

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

² Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej; 81-103 Gdynia; ul. Śmidowicza 61.

Tel: +48 58 626 27 74, E-mail: a.felski@amw.gdynia.pl;

2. OPTIMALIZACJA TECHNIKI UŻYCIA SONARU BOCZNEGO W POMIARACH PORTOWYCH

Akweny portowe ze względu na infrastrukturę portową, budowle hydrotechniczne oraz minimalne głębokości pod stępką wymagają stosowania pewnych procedur i rozwiązań technicznych pozwalających na realizację skutecznych prac sonarowych. Celem takich prac z użyciem sonaru bocznego czy opuszczanego jest wykrycie i zlokalizowanie podwodnych przeszkód, min, improwizowanych ładunków wybuchowych i obiektów minopodobnych.

Optymalizacja poszukiwania i wykrywania obiektów leżących na dnie i w toni wodnej akwenów portowych polega na wyznaczeniu najlepszego (optymalnego) rozwiązania technicznego i metodycznego przy jednoczesnym wzroście efektywności procesu pomiarowego. Główne kryteria jakie należy uwzględnić w poszukiwaniu optymalnego rozwiązania technicznego to wybór jednostki pomiarowej, wyznaczenie sposobu połączenia sensorów z kadłubem oraz wzajemne rozmieszczenie zastosowanych czujników.

2.1 Dobór jednostki (platformy) pomiarowej – nośnika systemu sonarowego

Akweny portowe takie jak baseny, tory wodne, kanały żeglugowe, awanport czy obrotnice charakteryzują się niewielkimi głębokościami, zróżnicowaną infrastrukturą portową oraz stosunkowo dużym natężeniem ruchu jednostek pływających. Są to akweny ograniczone, w których manewrowanie zwłaszcza dużych statków jest utrudnione i wymaga odpowiedniego doświadczenia. Jednostki oceanograficzne, statki badawcze, okręty hydrograficzne realizujące pomiary na pełnym morzu ze względu na swoje rozmiary nie mogą być wykorzystywane do prac na akwenach portowych.

Optymalną platformą pomiarową, która będzie skutecznie realizować zadania monitoringu dna w basenach portowych jest jednostka o długości do 6m-10m wyposażona w system pomiarowy do poszukiwania, wykrywania i lokalizowania obiektów podwodnych (rys. 1). Niewielkie jednostki motorowe (motorówka, kuter czy łódź pontonowa ze sztywnym dnem) posiadają dobre właściwości manewrowe, umożliwiają precyzyjne utrzymanie się na wyznaczonym profilu oraz mogą być mobilne, zwiększając tym samym zasięg działania i skracając czas reakcji na zagrożenia. Portowa jednostka pomiarowa musi mieć możliwość przyłączenia sensorów, osprzętu pomiarowego, anten a także dysponować odpowiednim źródłem zasilania. Na niewielkich jednostkach pływających np łodziach hybrydowych typu RIB często brak jest zasilania 230V co wymusza konieczność wykorzystania przenośnych agregatów prądowców. Zespół pomiarowy planujący prace na platformie, która nie posiada zamkniętej kabiny musi pamiętać o właściwym zabezpieczeniu sprzętu pomiarowego i komputerowego przed opadami atmosferycznymi.



Jednostka pomiarowa typu *katamaran*



Okrętowy kuter hydrograficzny



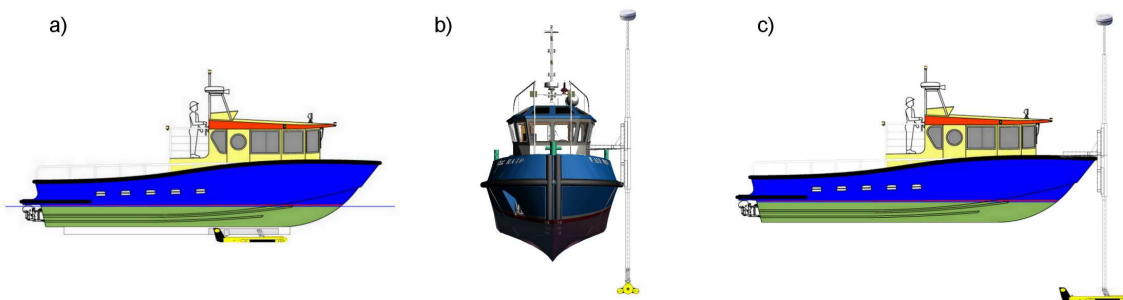
Hybrydowa łódź pomiarowa typu RIB

Rys. 1. Przykłady platform pływających wykonujących pomiary na akwenach portowych

2.2 Wybór miejsca mocowania sonaru bocznego do kadłuba jednostki

Wybór miejsca mocowania sonaru bocznego do kadłuba jednostki pomiarowej ma decydujący wpływ na jakość rejestrowanych danych i efektywność pracy urządzenia. Niewłaściwe umieszczenie przetworników względem kadłuba platformy może prowadzić do powstawania zjawiska „cienia akustycznego”, którego źródłem są stępka, płetwa sterowa czy inne fragmenty kadłuba. Cienie „rzucane” przez te elementy ograniczają maksymalny zasięg pracy systemu. W polu działania sonaru nie powinny znajdować się żadne elementy konstrukcyjne, które przesłaniałyby wiązkę akustyczną emitowaną przez przetwornik. Pozycja i metoda montażu sonaru do kadłuba jednostki pomiarowej to najważniejsze kryteria warunkujące poprawność działania urządzenia i odpowiednią jakość rejestrowanych danych. Istnieje obecnie kilka wariantów mocowania sonaru bocznego do kadłuba jednostki przeznaczonej do wykonania sonarowego przeszukania dna w basenie portowym. Nie zaleca się na ogół holowania sonaru za rufą platformy, ze względu na ograniczone możliwości manewrowania w basenie. Preferuje się natomiast pracę z sonarem połączonym „na sztywno” z kadłubem. Technika trwałego łączenia sonaru uwzględnia w zasadzie 3 warianty:

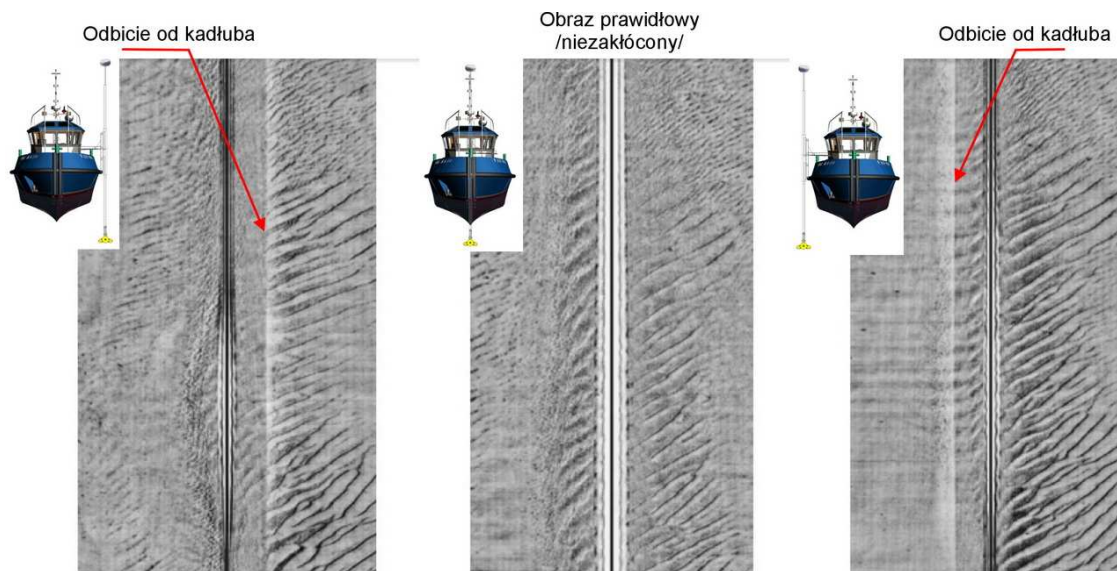
- a) wariant podkiłowy (kadłubowy) - rys. 2a
- b) wariant burtowy - rys. 2b
- c) wariant dziobowy - rys. 2c



Rys. 2. Warianty zamocowania sonaru bocznego do kadłuba portowej jednostki pomiarowej

Każda z wymienionych powyżej koncepcji użycia sonaru bocznego posiada swoje wady i zalety. Sonar nie powinien być mocowany na małej jednostce portowej za śrubą napędową ze względu na wytwarzane w wodzie bąbelki powietrza zachowujące się jak odbłyśniki reflektorów. Silnie napowietrzona woda powoduje odbijanie promieni akustycznych zmniejszając tym samym zasięg sonaru i jakość zapisywanych danych. Jeśli nie ma możliwości zamocowania sonaru przed śrubą napędową wówczas należy dołożyć wszelkich starań aby przetworniki znajdowały się poniżej płaszczyzny pracującej śruby napędowej. Planując umieszczenie przetworników w poszyciu kadłuba należy wybrać lokalizację wolną od wszelkich turbulencji i aeracji (napowietrzania). Należy unikać także mocowania sonaru za elementami konstrukcyjnymi powodującymi zjawisko kawitacji.

Wyniki wielu eksperymentów z użyciem sonaru bocznego w basenach portowych wskazują, że urządzenie to powinno być połączone z masztem, mocowanym sztywno do kadłuba platformy. Koncepcja użycia aluminiowego masztu wydaje się optymalna, po pierwsze ze względu na mobilność systemu, po drugie osiąganą efektywność wskazanego rozwiązania. Wariant mocowania sonaru do stępki dotyczy głównie pokładowych jednostek pomiarowych będących na wyposażeniu większych platform tj. okrętów hydrograficznych, statków badawczych czy oceanograficznych. Posiadają one pokładowe urządzenia dźwigowe (żurawiki, ramy wychylne) przeznaczone do wodowania swoich jednostek. Wariant opuszczania sonaru z burty jest powszechnie stosowany ze względu na łatwość obsługi i dostępność. Niestety te rozwiązanie tak naprawdę pozwala skutecznie wykorzystywać tylko jeden kanał (zewnątrzny) sonaru. W kanale wewnętrznym będą widoczne zakłócenia generowane przez kadłub jednostki pomiarowej. Ze względu na kształt charakterystyki promieniowania przetwornika część energii wiązki sonarowej będzie odbijała się od części dennej kadłuba i powracała bezpośrednio do przetwornika. Na sonogramie pojawi się wówczas biała linia równoległa do kierunku ruchu (rys. 3).



Rys. 3. Fragmenty sonogramów zarejestrowanych za pomocą sonaru zamocowanego do jednostki pomiarowej w różnych punktach [2]

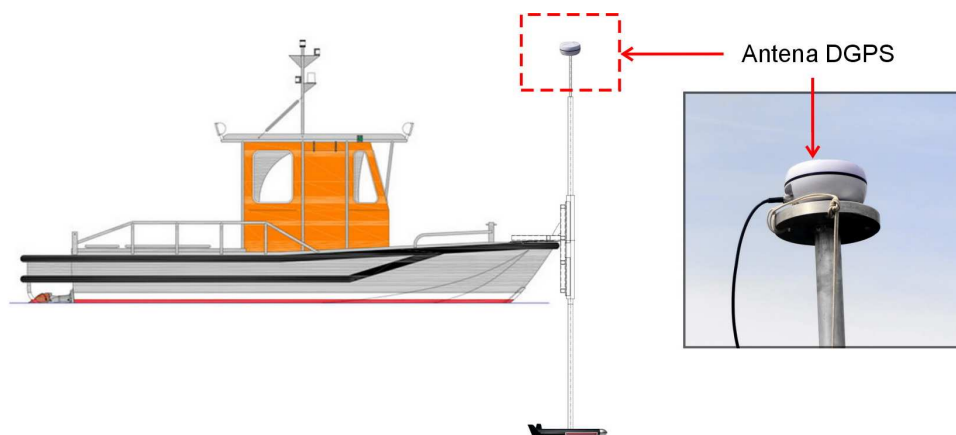
Dodatkowo pas dna pomiędzy linią centralną a linią odbicia kadłuba jest nieostry, zamazany, jakby pokryty cienką warstwą mgiełki. W 2006r. na akwenu Dutch Wadden Sea wykonano eksperyment, którego celem było wyznaczenie optymalnego miejsca zamocowania sonaru bocznego do jednostki pomiarowej. Badania wykonano na pokładzie 45m jednostki TX-63. W pomiarach wykorzystano sonar CM2 (C-Max Ltd.) pracujący na zakresie 50m z częstotliwością pracy 325 kHz. Jednostka przemieszczała się po wyznaczonym profilu rejestrując dane z tego samego fragmentu dna. Badania

przeprowadzono w trzech różnych wariantach pozycyjnych zestawu sonarowego: z prawej burty, z lewej burty i z dziobu. Na wszystkich trzech sonogramach widoczne są ripplemarki³.

Przeprowadzone badania i testy jednoznacznie dowodzą, że optymalną techniką wykonywania pomiarów sonarowych na akwenach płytkowodnych i ograniczonych infrastrukturą portową jest użycie sonaru bocznego przymocowanego „na sztywno” do kadłuba platformy pomiarowej. Główną zaletą zastosowanej metody jest eliminacja zjawiska myśkowania sonaru oraz możliwość precyzyjnego określenia pozycji przetwornika i anteny GPS. Istotną wadą tej techniki jest brak możliwości prowadzenia sonaru na różnych głębokościach zapewniających optymalną geometrię rozchodzącego się sygnału akustycznego. Doświadczenia zebrane w pracach pomiarowych wskazują, że umieszczenie sonaru z przodu jednostki pomiarowej (na dziobie) jest najlepszym z możliwych rozwiązań konstrukcyjnych, choć wymaga sprawnego i bezpiecznego manewrowania w warunkach ograniczonej przestrzeni.

2.3 Rozmieszczenie anteny systemu pozycyjnego

Umieszczenie anteny systemu pozycyjnego bezpośrednio w osi nad przetwornikiem sonaru bocznego powoduje, iż przesunięcia (offsety) wzdłużne i poprzeczne anten wynoszą 0m (rys. 4). To sprawia, że błąd określenia pozycji wykrytego obiektu podwodnego ograniczony jest do minimum. Precyzyjne dowiązanie geodezyjne anteny DGPS względem przetworników hydroakustycznych sonaru bocznego pozwala na dokładne określanie pozycji geograficznych wykrytych obiektów dennych. W tym przypadku antena GPS znajduje się nad przetwornikiem towfish-a. Zatem obydwa sensory znajdują się w tej samej płaszczyźnie pionowej. Co więcej, nie ma między nimi również przesunięcia w płaszczyźnie poziomej. Takie rozmieszczenie sensorów zapewnia dokładne pozycjonowanie sonaru a w konsekwencji wykrytych obiektów podwodnych na dnie. Technika użycia sonaru bocznego sztywno połączonego z kadłubem platformy pomiarowej stwarza optymalne warunki do lokalizowania wykrytych obiektów dennych. W lokalnym układzie współrzędnych (na jednostce) jedynym parametrem wprowadzanym do systemu jest wysokość „z”.



Rys. 4. Wzajemne położenie sensorów na portowej jednostce pomiarowej

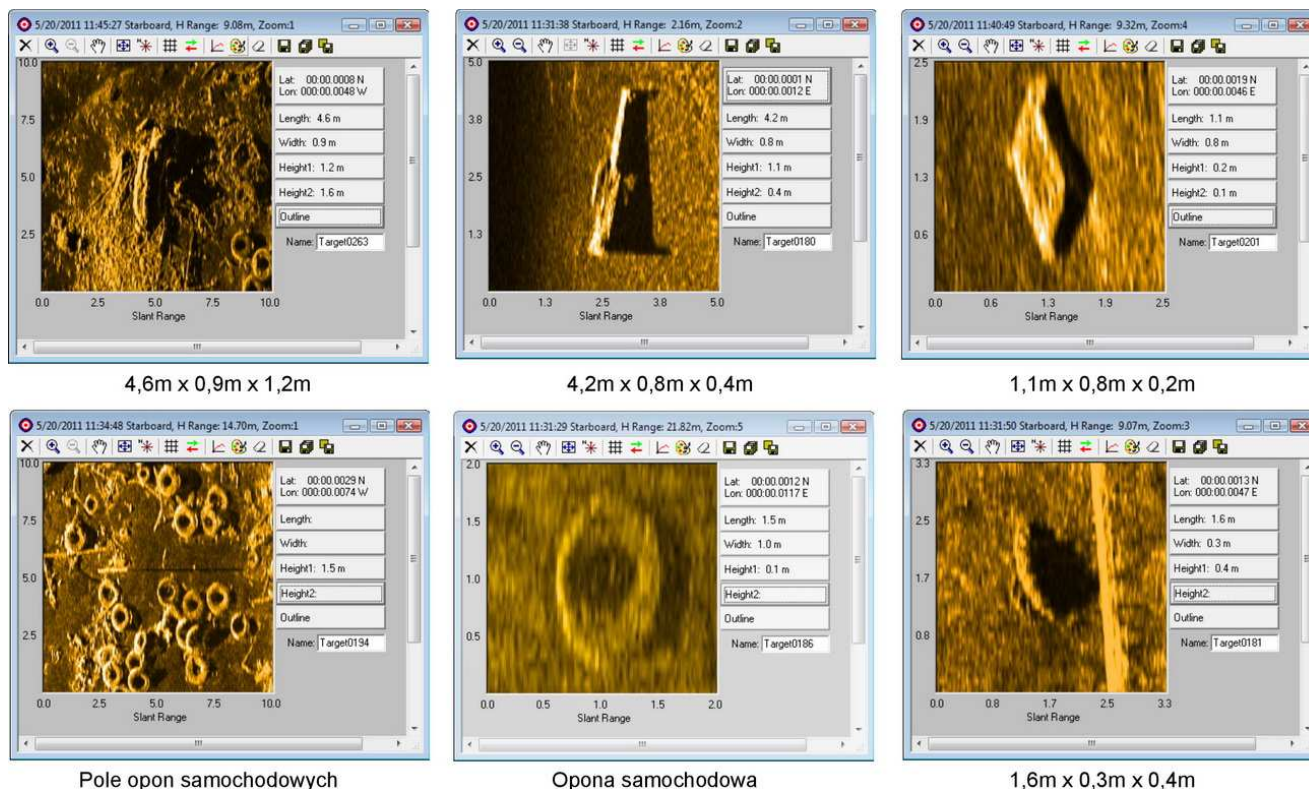
3. POMIARY SONAROWE W BASENIE PORTOWYM

Użycie sonaru bocznego jest jedną z zalecanych metod prowadzenia poszukiwań nie tylko na akwenach otwartych ale także na płytszych, akwenach portowych. Poszukiwania takie można prowadzić w każdych warunkach, ale są one efektywne pod warunkiem, że obiekt charakteryzuje się wysokim prawdopodobieństwem wykrycia. W celu sprawdzenia skuteczności zastosowanej techniki użycia sonaru bocznego a także zdolności detekcyjnych systemu wykonano pomiary w jednym z basenów portu Gdynia.

W pomiarach wykorzystano sonar boczny zamocowany do dziobu kutra hydrograficznego o długości 9m. Dane sonarowe rejestrowane były na częstotliwości 445 kHz i 900 kHz. Poszukiwanie obiektów podwodnych realizowano na zakresach 20m i 30m. Sonar znajdował się 2m pod powierzchnią wody i około 4m do 9m nad dnem. Akwen pomiarowy pokryty został siatką profili, po których przemieszczała się jednostka z prędkością 3-4 węzłów. Profile zorientowane były równoległe do nabrzeża. Pozycjonowanie pomiarów odbywało się w oparciu o system DGPS Hemisphere Seria R110.

W wyniku przeprowadzonych w basenie portowym prac uzyskano 100% pokrycie dna pomiarami. Wykryto i zlokalizowano kilkanaście obiektów leżących na dnie. Szczegółowo przeszukano obszary dna wzdłuż nabrzeża i pirsu, gdzie wykryto liczne opony samochodowe i porozrywane liny cumownicze. Pomimo niewielkich rozmiarów cele pozostawiły wyraźne cienie, na podstawie których dokonano pomiaru wielkości wykrytych obiektów. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że sonar sztywno połączony z kadłubem w części dziobowej jednostki pomiarowej jest zdolny do poszukiwania i skutecznego wykrywania obiektów podwodnych o wielkości poniżej 1m. Rys. 5 przedstawia przykłady obiektów wykrytych podczas prac pomiarowych.

³ Ripplemarki [ang. *ripple marks*] - fale piaszkowe, zmarszczki piaszkowe, *geol.* niewielkie formy zbudowane najczęściej z piasku lub mułu, utworzone na lądzie lub w środowisku wodnym; powstają wskutek działania wiatru (ripplemarki eoliczne), prądów wodnych (ripplemarki prądowe) lub falowania (ripplemarki falowe) [3].



Rys. 5. Przykłady obiektów podwodnych wykrytych za pomocą sonaru bocznego w basenie portowym

4. WNIOSKI

Sonar boczny jest obecnie jednym z najskuteczniejszych środków do poszukiwania obiektów podwodnych leżących na dnie akwenów morskich. Technika użycia takiego sonaru w basenie portowym zdecydowanie różni się od tej stosowanej na morzu pełnym. Duże głębokości i otwarta przestrzeń stwarzają dogodne warunki do holowania sonaru bocznego za pomocą specjalnej kabloliny. W basenie portowym optymalnym rozwiązaniem jest sztywne połączenie sonaru z kadłubem jednostki pomiarowej. Do takich celów najlepiej wykorzystuje się niewielkie platformy, o dużej manewrowości, zwrotności i małym zanurzeniu. Platforma taka powinna być wyposażona w specjalną konstrukcję aluminiową zapewniającą sztywne połączenie sonaru z kadłubem. Optymalnym punktem mocowania jest dziób jednostki. W celu zwiększenia dokładności określania pozycji wykrytych obiektów podwodnych antena systemu pozycyjnego powinna być zainstalowana bezpośrednio nad przetwornikami hydroakustycznymi, w jednej osi współrzędnych „z”.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Lafferty, R.Granger: *Harbor Shield: protecting harbors from hull-mounted explosives*, Sea Technology, USA, March 2011
- [2] Ronnie van Overmeeren: *The optimal position of a sidescan sonar towfish fixed to a shellfish vessel for very shallow surveys – an experiment in the Dutch Wadden Sea*, TNO report, 2006-U-RO114/A; July, 2006
- [3] Encyklopedia popularna PWN, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2011