

D. Grabiec

LOKALIZACJA I ZOBRAZOWANIE OBIEKTÓW PODWODNYCH ZA POMOCĄ HYDROGRAFICZNYCH ŚRODKÓW HYDROAKUSTYCZNYCH – WYBRANE PROBLEMY

W artykule przedstawiono ogólne informacje związane z wykorzystaniem współczesnych środków hydrograficznych do lokalizacji i zobrazowania obiektów podwodnych. Ukazano niektóre czynniki mające wpływ na jakość uzyskiwanych danych za pomocą środków hydroakustycznych takich jak sonary i systemy nawigacji podwodnej oraz wybrane problemy związane ze zobrazowaniem i interpretacją zarejestrowanych danych pomiarowych.

WSTĘP

Wzrost zainteresowania człowieka obszarami dna morskiego np. ze względu na bogactwa naturalne, obiekty historyczne, czy też uwarunkowania militarne powoduje podejmowanie przez niego szeregu działań realizowanych w obszarach przydennych (np. budowa podwodnych rurociągów, układanie podmorskich kabli, identyfikacja wraków, poszukiwanie min dennych, eksploracja bogactw naturalnych). Działania te często wymagają dość precyzyjnej informacji o stanie i aktualnym położeniu obiektów podwodnych (będących celem prac pomiarowych lub uznanych za ewentualne przeszkody) oraz użytych środków pomiarowych (batyskafy, pojazdy podwodne ROV, AUV, sonary holowane, nurkowie).

Zagadnienie lokalizacji i zobrazowania obiektów znajdujących się na lądzie lub w przestrzeni powietrznej obecnie w zasadzie nie stanowi większego problemu. Dzięki wykorzystaniu technologii GPS jest to zadanie stosunkowo proste i łatwe. To samo dotyczy sposobów i form zobrazowania (prezentacji) takich obiektów. Mówiąc o zobrazowaniu mamy na myśli zarówno odzwierciedlenie kształtu jak i ich położenia w przestrzeni. Można tutaj wykorzystywać różnorodne metody i środki począwszy od wykonywania najprostszyc szkiców, rysunków i mapek, a skończywszy na wysokorozdzielczych zdjęciach satelitarnych i systemach informacji geograficznej. Warto tutaj zauważyć, że poprawność uzyskanego zobrazowania można równie szybko i łatwo zweryfikować zarówno pod względem kształtów jak i położenia (współrzędne pozycji, orientacja, pochylenie itp.). Jest to zadanie ułatwione dzięki zachowaniu możliwości przynajmniej częściowego „oglądu” wzrokowego przez osobę opisującą dany obiekt w sytuacjach, w których nie mamy do czynienia z czynnikami naturalnymi (np. atmosferycznymi – mgła, opady) lub będących efektem działalności człowieka (tworzenie dymów, zapyleń itp.) utrudniającymi ten ogląd. Zupełnie odmiennie wyglądają te sprawy w odniesieniu do lokalizacji i zobrazowania obiektów znajdujących się w wodzie, ze szczególnym uwzględnieniem tych rozmieszczonych 10 m i więcej pod powierzchnią wody. Trudności, z którymi można się spotkać wynikają bezpośrednio ze specyficznych właściwości środowiska wodnego utrudniających a niekiedy uniemożliwiających wykorzystanie środków i metod stosowanych na powierzchni lądu. Mowa jest tutaj między innymi o ciśnieniu hydrostatycznym, parametrach hydrologicznych ze szczególnym uwzględnieniem przejrzystości wody. Elementem dodatkowo utrudniającym odnalezienie obiektu podwodnego jest także

ukształtowanie dna. Podejmując działania związane z poszukiwaniem obiektów zalegających na dnie należy mieć na uwadze to, że odnalezienie obiektów zarówno dużych jak i małych zalegających na dnie wobec słabej wiedzy o jego ukształtowaniu niekiedy graniczy z cudem. Pamiętajmy, że dno nie jest powierzchnią płaską z jednolitą strukturą materiału dennego. Pod względem ukształtowania - występują podwodne wzniesienia i doliny; biorąc pod uwagę rodzaju materiału dennego – mamy do czynienia z mułem, piaskiem, gliną i kamieniami. Wszystko to powoduje, że wykrycie obiektu leżącego na dnie pomiędzy np. dwoma podwodnymi wzniesieniami jest znacznie utrudnione. Podobne utrudnienia spotkamy dążąc do uzyskania wiarygodnych informacji związanych z określeniem położenia wykrytego obiektu podwodnego. Są one rezultatem niemożności bezpośredniego wykorzystania systemów GPS pod powierzchnią wody. Istnieją tylko sposoby pośrednie – na zasadzie pozycjonowania elementów powierzchniowych odniesionych lub sprzężonych z obiektem podwodnym. W takich warunkach, wydaje się, że jednym z bardziej skutecznych sposobów lokalizacji takich obiektów oraz prowadzenia monitoringu ruchu środków pomiarowych jest wykorzystanie systemów opartych na hydroakustyce.

1. WSPÓŁCZESNE ŚRODKI DO LOKALIZACJI I ZOBRAZOWANIA OBIEKTÓW PODWODNYCH

W większości państw posiadających dostęp do morza sprawami poszukiwania i lokalizacji obiektów podwodnych zajmują się wyspecjalizowane wojskowe i cywilne służby hydrograficzne oraz ośrodki i instytucje (akademickie i naukowo-badawcze) z nimi współpracujące, dysponujące hydrograficznymi środkami pomiarowymi. Spośród nich wyróżnić można środki przeznaczone do poszukiwania, lokalizacji i wstępnej identyfikacji obiektów podwodnych oraz środki przeznaczone prawie wyłącznie do identyfikacji i weryfikacji uprzednio wykrytych obiektów. Do pierwszej grupy śmiało zaliczyć można między innymi sonary, echosondy wielowiązkowe – dostarczające informacji o kształcie, elementach położenia i otoczeniu obiektu podwodnego oraz systemy nawigacji podwodnej, których zadaniem jest ułatwianie pozyskiwania informacji o pozycji albo środków wykrycia, albo samego obiektu podwodnego. Wymienione rodzaje wyposażenia ze względu na fakt wykorzystywania fali hydroakustycznej nazywa się hydrograficznymi środkami hydroakustycznymi. Do drugiej grupy zaliczyć z pewnością można załogowe i bezzałogowe systemy wyposażone w sprzęt umożliwiający ogląd wizyjny oraz jego rejestrację najczęściej za pomocą systemów podwodnej TV. Ze względu na możliwości wykrywania, uniwersalność zastosowania, liczbę rozwiązań konstrukcyjnych w dalszej części referatu ograniczę się do środków wymienionych w pierwszej grupie.

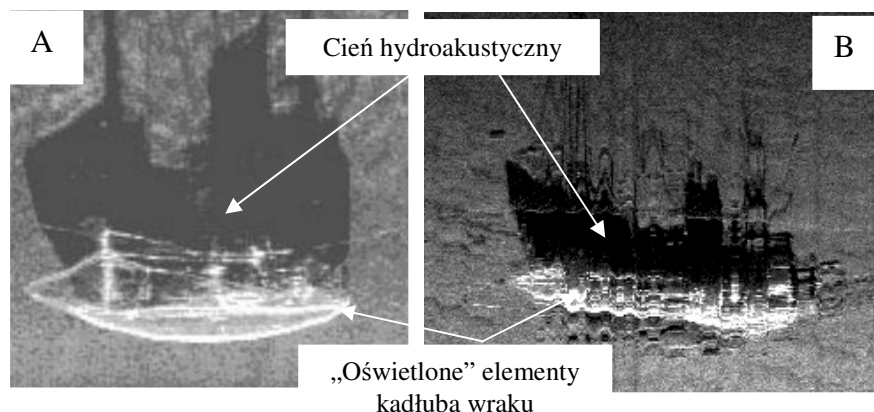
Pod pojęciem hydrograficznych środków hydroakustycznych rozumiemy grupę urządzeń wykorzystujących efekt odbijania fali dźwiękowej od przeszkody znajdującej się na drodze i kierunku jej rozprzestrzeniania się. Zastosowanie w badaniach podwodnych fali akustycznej jako czynnika penetrującego podyktowane jest tutaj łatwością jej wytworzenia oraz faktem znacznie lepszego rozchodzenia się dźwięku w wodzie, (choć nie bez strat) w porównaniu ze światłem. Metoda pomiaru, mówiąc w dużym uproszczeniu, polega na obliczeniu czasu, w jakim dźwięk wysłany z przetwornika (umieszczonego w kadłubie jednostki pływającej albo urządzenia holowanego) dochodzi do dna morskiego lub danego obiektu zlokalizowanego na dnie albo w morskiej toni, odbija się od nich i powraca do tego samego przetwornika. Uzyskany czas jest następnie wykorzystywany do określenia odległości dzielącej przetwornik od miejsca odbicia sygnału. Odległość ta wraz z określeniem kierunku nadejścia sygnału hydroakustycznego może być następnie wykorzystywana między innymi do tworzenia obrazów dwu- lub trójwymiarowych prezentujących badane obiekty, ich elementy lub otoczenie.

Jak wspomniano wcześniej do grupy hydrograficznych środków hydroakustycznych zaliczyć można także systemy nawigacji podwodnej. Ich rola i znaczenie coraz bardziej wzrasta, szczególnie w ostatnich latach. Jest to niejako naturalna konsekwencja dążenia hydrografów do uzyskiwania możliwie szczegółowych danych o lokalizacji obiektów podwodnych. Współczesne hydroakustyczne systemy nawigacji podwodnej znalazły zastosowanie między innymi podczas realizacji prac związanych z układaniem kabli i rurociągów podwodnych, inspekcji morskich budowli hydrotechnicznych (w części podwodnej), określania pozycji małych obiektów podwodnych (zalegające na dnie głazy, kotwice, obiekty militarne – miny, torpedy itp.). Systemy te są także wykorzystywane do określania pozycji środków pomiarowych wykorzystywanych w pracach hydrograficznych -szczególnie tam, gdzie mamy do czynienia z elementami pracującymi w toni wodnej na „uwięzi” (sonary i magnetometry holowane, pojazdy ROV, PVDS).

2. WPŁYW WARUNKÓW HYDROMETEOROLOGICZNYCH NA LOKALIZOWANIE I ZOBRAZOWANIE OBIEKTÓW PODWODNYCH

W przeciwieństwie do warunków na lądzie na wodzie nie jesteśmy w stanie zapewnić w miarę stabilnej i długotrwałej „platformy pomiarowej” względem, której będziemy mogli odnieść swoje pomiary. Istnieją oczywiście pewne rozwiązania techniczne (stabilizatory i mierniki przechyłów, przegłębień i zmian kierunku, systemy DP – pozycjonowania dynamicznego), jednakże ich prawidłowe funkcjonowanie jest zapewnione w stosunkowo niewielkim zakresie zmian mierzonych parametrów. Ponadto w warunkach morskich mamy do czynienia z dużą dynamiką zmian czynników pogodowych i hydrologicznych. Do najważniejszych i jednocześnie powszechnie znanych, mających ogromny wpływ na proces lokalizowania i zobrazowania obiektów podwodnych należy zaliczyć: dryf, znos i falowanie.

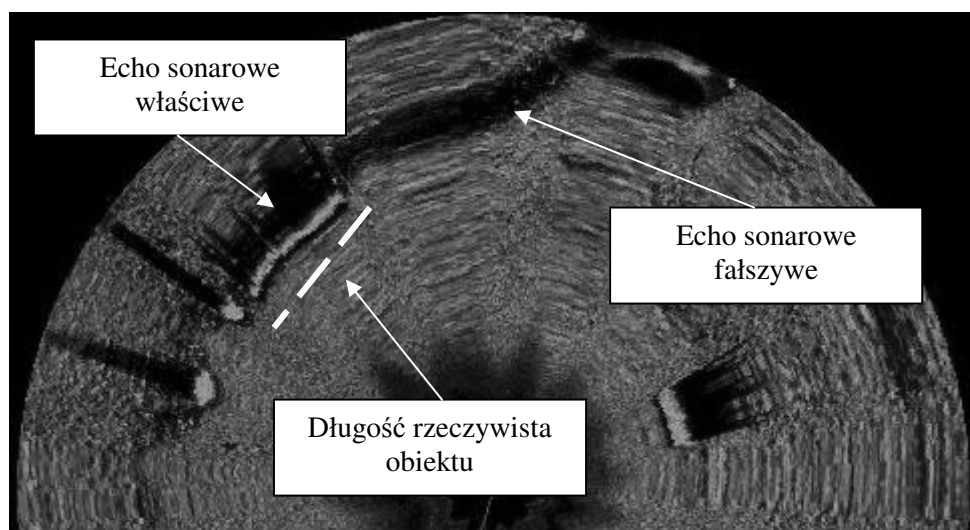
Każdy z tych elementów ma duże znaczenie dla jakości pozyskiwanych danych w trakcie realizacji pomiarów hydrograficznych. Każdy z nich powoduje powstawanie problemów i niekiedy dużych błędów zarówno w określeniu położenia obiektu podwodnego, jak i próbach jego zobrazowania. Na rysunku 1 przedstawiono sonogramy dwóch wraków zatopionych kutrów rybackich znajdujących się w granicach polskich obszarów morskich. Oba uzyskano za pomocą tego samego sonaru holowanego. Pierwszy z nich (z lewej) został zarejestrowany niemal w idealnych warunkach hydrometeorologicznych (brak wiatru, niski stopień sfalowania powierzchni morza).



rys. 1. Wpływ falowania na jakość danych uzyskanych w trakcie pomiarów sonarowych. (źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów dZH MW, A – pomiary ORP „Arctowski”, B – pomiary ORP „Heweliusz”)

Dzięki temu uzyskano niemal fotograficzną jakość obrazu sonarowego, bez zniekształceń i z wyraźnie zarysowanym cieniem hydroakustycznym ułatwiającym wstępną identyfikację wraku. Takich warunków nie było w trakcie rejestracji obrazu sonarowego drugiego wraku. Tutaj wyraźnie widoczne jest niekorzystne oddziaływanie falowania – uzyskany obraz jest „poszarpany”, z wyraźnymi przerwami i przesunięciami, tak w obrazie oświetlonego kadłuba jak i cienia hydroakustycznego. Jest to między innymi efekt naprężania i luzowania kabloliny podczas holowania przez nawodną jednostkę hydrograficzną.

W akwenach z występującymi prądami morskimi istotnym problemem jest zapewnienie przemieszczania się holowanego środka pomiarowego po założonej drodze i kierunku. O ile nawodna jednostka holująca jest w stanie utrzymać się na zadanej linii profilu (zaplanowanej drodze podążania) stosując znane w nawigacji czynne uwzględnianie znosu, lub też wykorzystując stery strumieniowe albo systemy DP, to w przypadku środka holowanego z pewnością będziemy mieć do czynienia z niezamierzonym jego przemieszczaniem się w kierunku pokrywającym się z kierunkiem oddziaływania prądu. Wartość liniowa i kątowa owego przemieszczenia w dużej mierze zależy od długości kabloliny łączącej element holowany i jednostkę holującą. Taka sytuacja może powodować zawężenie pasa przeszukania, błędne określenie położenia wykrytego obiektu podwodnego.



rys. 2. Wpływ oddziaływania prądu morskiego na obraz sonarowy z sonaru opuszczanego przeszukania okrężnego i sektorowego. (źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów dZH MW – pomiary ORP „Heweliusz”)

Zauważmy, że pozycja ta jest otrzymywana na zasadzie uwzględnienia namiaru i odległości do obiektu względem położenia przetwornika sonaru. Zatem błędne określenie kierunku przemieszczania i pozycji sonaru będzie przekładać się także na błąd otrzymanej pozycji badanego obiektu. Stąd też dużą rolę spełniają wspomniane wcześniej systemy nawigacji podwodnej. Pozwalają one zmniejszyć te błędy poprzez dostarczanie informacji o pozycji środka pomiarowego. W odniesieniu do zobrazowania możemy mieć do czynienia ze zmienionymi w pewnych warunkach takimi cechami obiektu jak długość i jego szerokość. W znacznym stopniu jest to uwarunkowane zorientowaniem badanego obiektu względem osi profilu. Jednakże należy w tym miejscu nadmienić, że można temu zapobiec stosując odpowiednie procedury i metodykę pomiarów. W przypadku stosowania sonarów opuszczanych możemy być pewni, że w przypadku znacznych wartości prędkości prądów morskich będziemy mieć

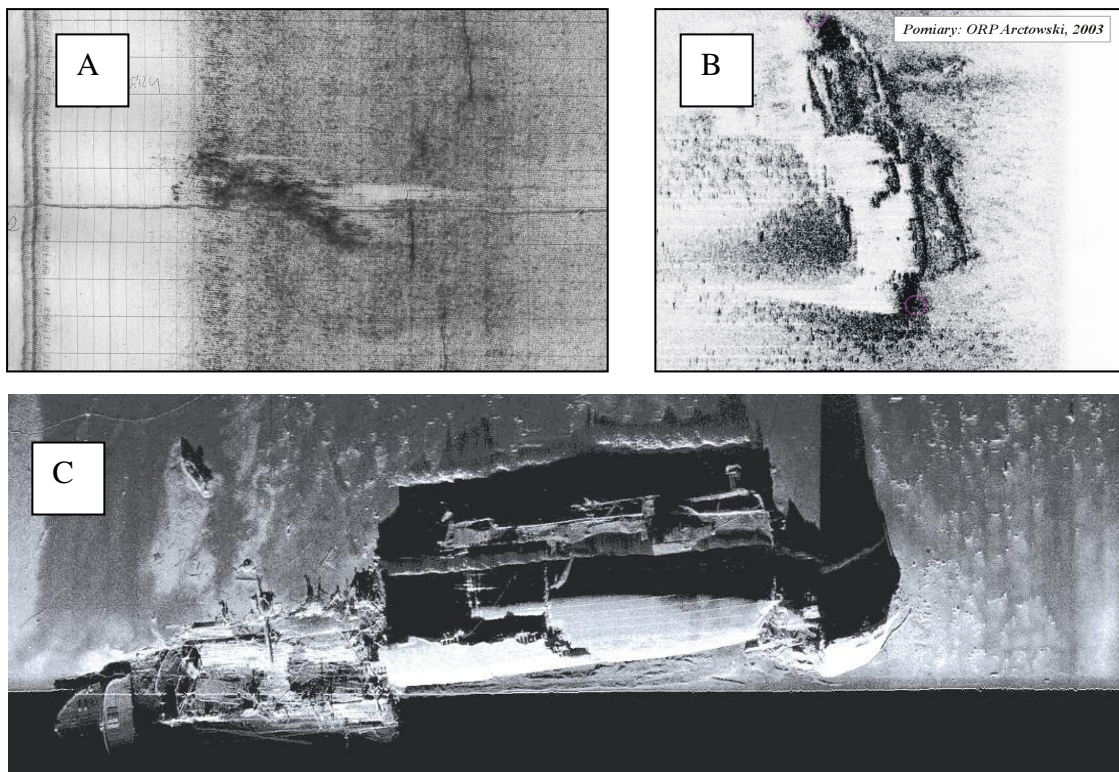
do czynienia z odchyleniem się głowicy sonaru od linii pionu. To zaś będzie powodować zamazywanie się obrazu sonarowego oraz utrudnienia w interpretacji uzyskanych danych. Przykład takiego obrazu przedstawiono na rysunku 2. Widać na nim wyraźnie przesunięcie obrazu sonarowego dające fałszywy obraz badanego celu. Wydaje się, że jest on znacznie dłuższy niż w rzeczywistości. Może wystąpić także zjawisko częściowego oglądu dna w jednej i toni wodnej w pozostałej części sonogramu. Takie zjawisko niekiedy całkowicie uniemożliwia dokonanie pełnej i wiarygodnej oceny zarejestrowanego materiału pomiarowego.

3. WPLYW ZASTOSOWANYCH ŚRODKÓW POMIAROWYCH I WYBÓR METODYKI POMIARÓW NA ZOBRAZOWANIE OBIEKTÓW PODWODNYCH

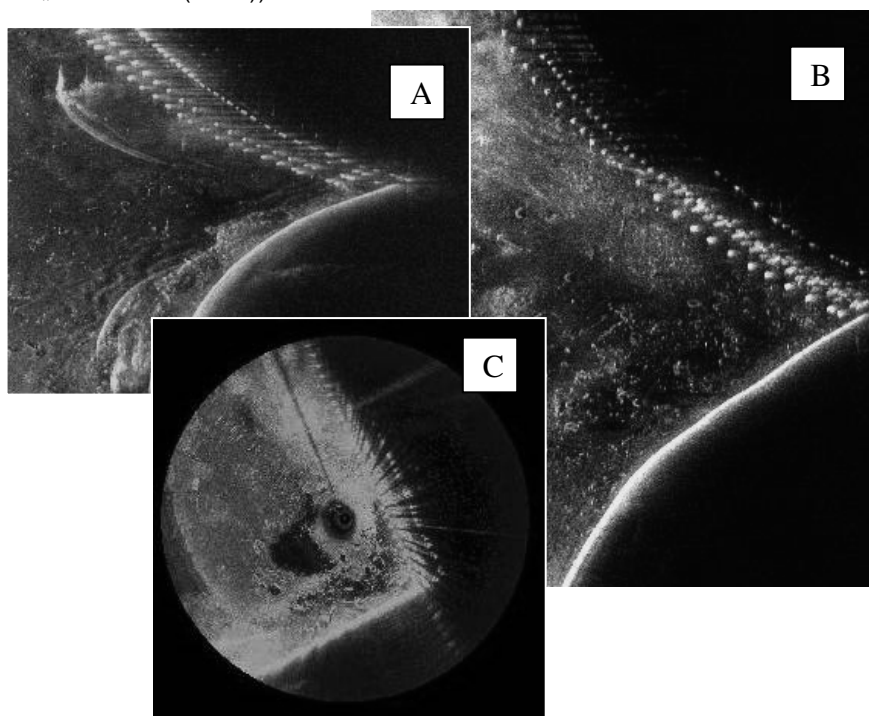
Innym istotnym elementem wiedzy z punktu widzenia osoby prowadzącej poszukiwanie obiektu podwodnego za pomocą hydrograficznych środków hydroakustycznych jest wybór środków pomiarowych, a w konsekwencji sposób prezentacji danych pomiarowych. Zagadnienie to jest ściśle związane z zastosowaną technologią akwizycji (pozyskiwania) i przetwarzania informacji pomiarowej. Decyduje ona o potencjalnych możliwościach samego wykrycia obiektu podwodnego. Wpływ mają tutaj takie czynniki jak sposób prezentowanych danych, ich ilość oraz jakość.

Początkowo, graficzną prezentację zapisu kształtu dna w przypadku echosond oraz rejestracji wyników przeszukiwania sonarowego - w przypadku sonarów, dokonywano w oparciu o tzw. indykację oscylograficzną, bez możliwości rejestracji danych. Stwarzało to możliwość przeoczenia na ekranie lampy wskaźnika wzrostu amplitudy sygnału odbitego od małych obiektów podwodnych. Rozwiązaniem tego problemu (na dość długi okres czasu) było prowadzenie rejestracji danych w oparciu o echogram lub sonogram. Te elementy były w istocie rzeczy zadrukowanym lub wypalonym arkuszem zwykłego lub termoczułego papieru. Obecnie większość użytkowanych współczesnych sonarów i echosond hydrograficznych pracuje w oparciu o technikę cyfrową i komputer. Pozwala ona na uzyskiwanie wysokiej jakości obrazów, które są rejestrowane wyłącznie jako dane cyfrowe jednakże z zachowaniem możliwości ich późniejszego wydruku lub przeglądania w ramach tzw. post-processingu. Wprowadzenie tej techniki oprócz zmniejszenia ilości zużywanego papieru stworzyło znacznie lepsze możliwości dalszego przetwarzania oraz archiwizowania danych. Przyczyniło się także do zwiększania jakości i dokładności uzyskiwanych sonogramów, a w konsekwencji - polepszenia interpretacji otrzymywanych danych. Różnice w zobrazowaniu są doskonale widoczne na rysunku 3 przedstawiającym ten sam obiekt jednakże zarejestrowany za pomocą trzech różnych sonarów i technologii.

Kolejnym istotnym elementem mającym wpływ na jakość danych związanych z lokalizacją i zobrazowaniem obiektów podwodnych jest wybór właściwej techniki i metodyki pomiarów stosownie do celów, które powinny zostać osiągnięte. Doskonałym przykładem są sonogramy prezentujące ten sam obszar dna – narożnik jednego z nabrzeży portowych. (Zobacz rysunek 4.) Pierwszy z nich uzyskano realizując pomiar sonarem holowanym, drugi sonarem opuszczanym. W pierwszym przypadku nie zachowano warunku przejścia profilem wzdłuż nabrzeża, a wykonano zwrot. W efekcie uzyskano efekt „przeniesienia” trajektorii zwrotu na nabrzeże. Należy pamiętać, że im większa prędkość i mniejsza wartość cyrkulacji („ciaśniejszy” zwrot) tym zniekształcenia zobrazowania będą większe (porównaj rysunek 4 A i 4B). Otrzymany obraz sugeruje zaokrąglenie tego nabrzeża, gdy tym czasem w rzeczywistości nadal jest on prostoliniowy. Takich zniekształceń obrazu można uniknąć wykorzystując sonar opuszczany przeszukania okrężnego (zobacz rysunek 4C).

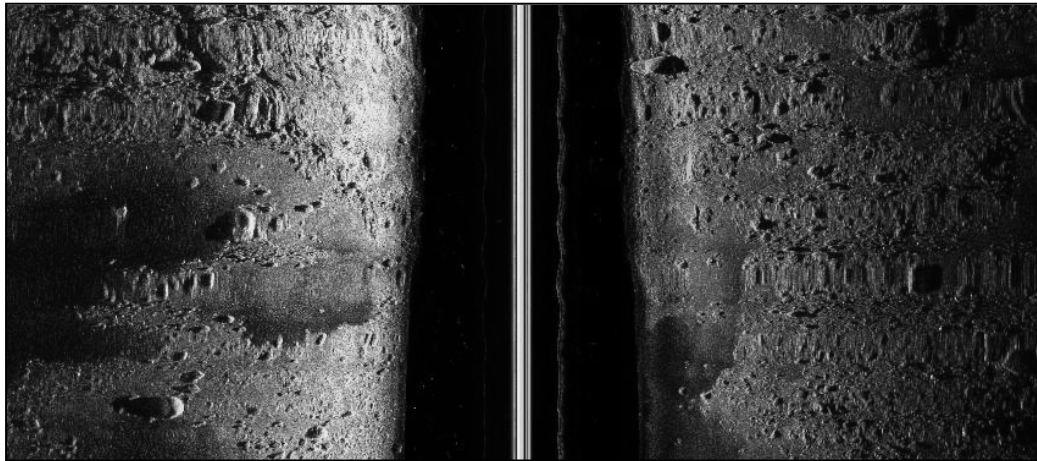


rys. 3. Porównanie sonogramów prezentujących ten sam obiekt podwodny – wrak statku „Wilhelm Gustloff”, uzyskanych za pomocą: [A] sonaru analogowego Gebo-100 w 1989 r. (papier termoczuły), [B] sonaru analogowego Acson100 w 2003 r. [C] sonaru cyfrowego DF 1000 w 2003 r. (źródło: A – dZH MW, pomiary ORP „Heweliusz” (1989); B, C – dZH MW, pomiary ORP „Arctowski” (2003)).



rys. 4. Wpływ rodzaju środków pomiarowych i realizacji pomiarów na uzyskiwane zobrazowanie obiektów podwodnych. (źródło: A, B – AMW (2005), C – dZH MW / AMW (2004)).

Innym rodzajem problemów związanych z interpretacją danych pomiarowych jest ukształtowanie dna oraz ilość i rodzaj obiektów na nim się znajdujących. Poruszam to zagadnienie specjalnie, bowiem przyjęło się sądzić, że sonar sprzężony z systemem nawigacji podwodnej rozwiązuje całkowicie problem poszukiwania, lokalizacji i zobrazowania obiektów podwodnych. Otóż nic bardziej mylnego. W przypadku poszukiwania obiektu, np. o wymiarach 1m × 1m × 1m, wówczas, gdy w pobliżu znajdują się inne obiekty o podobnej wielkości znalezienie właściwego jest w zasadzie niemożliwe, a na pewno znacznie utrudnione. Właściwe zlokalizowanie poszukiwanego obiektu, a następnie jego zobrazowanie i identyfikacja w większości przypadków jest możliwa dopiero po zastosowaniu innych środków – najczęściej systemów telewizji podwodnej lub nurków. Wymaga to jednak dodatkowych sił i środków, tak finansowych jak i czasowych. Dla zobrazowania skali problemu przedstawiam rysunek 5., na którym przedstawiono obraz sonarowy dna morskiego z licznymi kamieniami. Odnalezienie celu, jakim może być np. mina denną jest w tym przypadku zadaniem mocno utrudnionym, aczkolwiek nie niemożliwym. Wymaga to jednak poświęcenia większej ilości czasu na dokonywanie analiz zarejestrowanych obiektów podwodnych w ramach tzw. post-processingu, a następnie podjęcia innych działań uwarunkowanych zarówno warunkami środowiska wodnego, sytuacji na dnie oraz charakterystyką i parametrami poszukiwanego celu.



rys. 5. Przykład zobrazowania dna z licznymi kamieniami wystającymi średnio na około 40 cm ponad powierzchnię dna. (źródło: AMW (2005)).

PODSUMOWANIE

Pomimo wprowadzania do hydrografii coraz lepszych technik pomiarowych nadal nie jesteśmy w 100% scharakteryzować tego, co możemy znaleźć na dnie. Mówiąc o hydrograficznych środkach hydroakustycznych należy zdawać sobie sprawę, że pomimo tego, że w zasadzie stanowią one zdecydowaną większość spośród systemów przeznaczanych do realizacji poszukiwań, lokalizacji i zobrazowania obiektów podwodnych nie są one wyposażeniem idealnym. W pewnych warunkach, szczególnie podczas poszukiwania małych obiektów podwodnych mogą okazać się niewystarczające. Będą wówczas wymagać uzupełnienia innymi systemami i technikami np. telewizji podwodnej. Jednakże w tego typu pracach nadal pełnią one rolę pierwszoplanową i stanowią nieocenione źródło informacji. Ważnym jest to, by zdawać sobie sprawę, że o sukcesie lub porażce mogą decydować także lokalne warunki hydrometeorologiczne i środowiskowe. Zupełnie inaczej będzie wyglądała

sytuacja na morzu od tej, którą spotkamy w akwenach śródlądowych, gdzie ilość zlokalizowanych ech na dnie może być bardzo duża. Zauważmy, że w dennych obszarach jezior mamy do czynienia z wieloma obiektami podwodnymi pochodzenia antropogenicznego (różnego rodzaju śmieci - butelki, rowery, rybackie sieci kłusownicze itp.) oraz naturalnego (zatonione gałęzie i konary drzew). Echa te szczególnie, jeśli pochodzą od gałęzi obrosniętych glonami i roślinnością mogą swoimi charakterystykami odpowiadać echom poszukiwanych obiektów. To zaś wymaga sprawdzania każdego z nich niemal w trybie indywidualnym.

Przedstawione w niniejszym opracowaniu informacje nie wyczerpują całości zagadnienia. Stanowią one tylko swoisty „czubek góry lodowej”.

Autor:

dr Dariusz Grabiec – Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni