

D. Grabiec

ŚRODKI HYDROAKUSTYCZNEGO WYKRYWANIA OBIEKTÓW PODWODNYCH I PREZENTACJI HYDROGRAFICZNYCH DANYCH POMIAROWYCH

W artykule przedstawiono współczesne hydroakustyczne środki wykrywania obiektów podwodnych oraz ich klasyfikację w ujęciu hydrograficznym.

WSTĘP

Ciągłe dążenie człowieka do poznania wszystkich tajemnic, jakie skrywają wody śródlądowe i morskie powoduje, że w obszarze zainteresowania wielu ludzi są środki i metody wykorzystywane do pozyskiwania jakiegokolwiek informacji o obiektach znajdujących się zarówno w toni wodnej jak i na dnie. O tym, że jest to środowisko trudne do eksploracji i poznania nikogo nie trzeba przekonywać. Duża zmienność warunków i wartości poszczególnych elementów fizycznych oraz hydrologicznych opisujących to środowisko (wystarczy tu tylko wspomnieć o ciśnieniu hydrostatycznym, o rozkładzie pionowym temperatury, prędkości dźwięku w wodzie, przezroczystości, zasoleniu) sprawia, że do badania obszarów wodnych nie nadają się tradycyjnie wykorzystywane na lądzie przyrządy, urządzenia i systemy pomiarowe. Nieopłacalność lub nierealność takich przedsięwzięć jak wypompowanie wody z danego obszaru morskiego dodatkowo utrudnia stan rzeczy. W niniejszym opracowaniu postaram się nieco przybliżyć sprawę nie tylko związane ze środkami wykrywania obiektów podwodnych, ale także sposobami prezentacji danych pomiarowych wykorzystywanymi we współczesnej hydrografii morskiej. Zacznę jednak od krótkiego wyjaśnienia, czym jest hydrografia morska.

Pojęcie „hydrografia morska”, a właściwie jej definicja ewaluowała wraz z rozwojem technik pomiarowych i zwiększeniem zapotrzebowania człowieka na określone typy informacji o środowisku morskim. Na przestrzeni wielu lat powstało ich wiele. Współcześnie Międzynarodowa Organizacja Hydrograficzna [IHO] opracowała definicję określającą „hydrografię morską” jako „dziedzinę nauk stosowanych zajmującą się mierzeniem i opisywaniem fizycznych cech żeglownych akwenów morskich na powierzchni Ziemi i przyległych obszarów przybrzeżnych, ze szczególnym ukierunkowaniem na ich wykorzystanie w prowadzeniu nawigacji”. Jedną z wielu takich cech jest bez wątpienia ukształtowanie dna morskiego. Cecha ta jest zaś ściśle powiązana z informacją o obiektach podwodnych na nim zalegających (naturalnych lub wytworzonych przez człowieka). Zbieranie tego typu informacji nie jest sprawą prostą i łatwą. Oprócz wymienionych powyżej niektórych elementów fizycznych i hydrologicznych środowiska wodnego trzeba brać także pod uwagę sposób zobrazowania pozyskiwanej informacji, a w konsekwencji także jej odpowiedniej interpretacji zależnej w dużym stopniu od rodzaju zastosowanego wyposażenia pomiarowego. W dalszej części zostaną przedstawione środki hydroakustyczne wykorzystywane w hydrografii morskiej do poszukiwania i identyfikacji obiektów podwodnych.

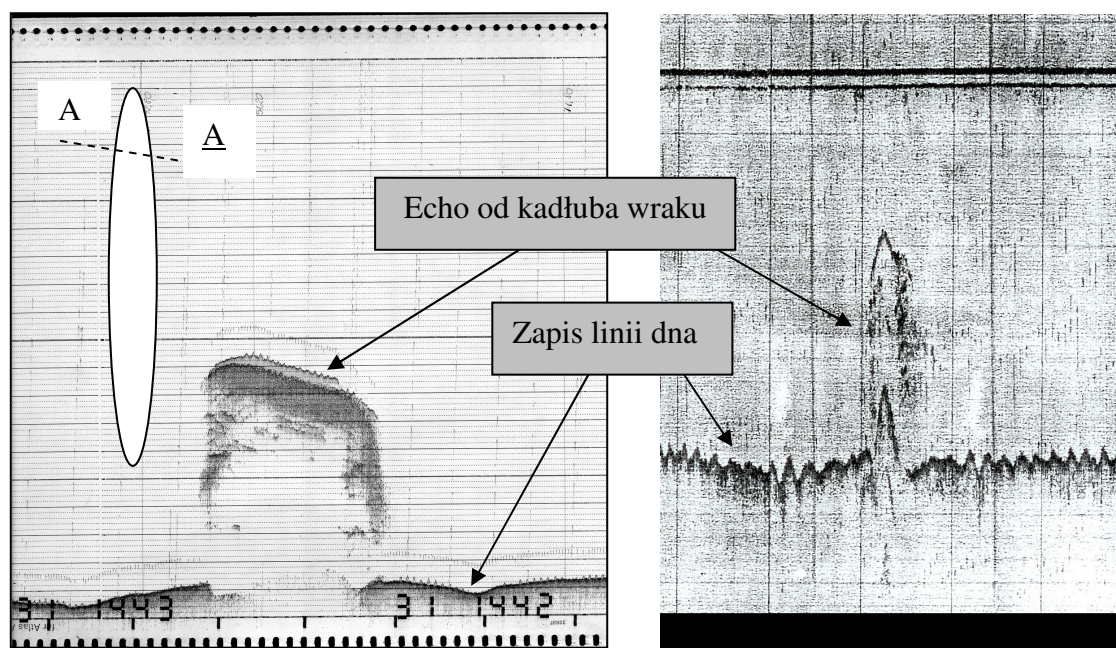
1. WSPÓŁCZESNE ŚRODKI WYKRYWANIA OBIEKTÓW PODWODNYCH.

Pomimo postępu technologicznego nadal podstawowym sposobem pozyskiwania danych w omawianej dziedzinie jest wykorzystywanie efektu odbijania się fali hydroakustycznej od przeszkody znajdującej się na drodze i kierunku jej rozprzestrzeniania się. Grupę takich urządzeń tworzą sonary i echosondy¹. W dużym uproszczeniu można powiedzieć, że w tym przypadku metoda pomiaru polega na obliczeniu czasu, w jakim dźwięk wysłany z przetwornika dochodzi do dna morskiego lub danego obiektu zlokalizowanego albo na dnie, albo w morskiej toni, odbija się od nich i powraca do odbiornika umieszczonego na kadłubie jednostki pływającej. Uzyskany czas jest następnie wykorzystywany do określenia odległości dzielącej przetwornik od miejsca odbicia sygnału.

Pomijając szczegóły konstrukcyjne spośród echosond wyróżnić można echosondy jednowiązkowe (SBES) oraz wielowiązkowe (MBES)². W pierwszym przypadku mamy do czynienia z pojedynczą wiązką hydroakustyczną, której kształt, mówiąc w dużym uogólnieniu, przypomina wąski stożek z podstawą ulokowaną na dnie akwenu. Daje nam to możliwość w miarę precyzyjnego określenia głębokości (kilka centymetrów w przedziale małych głębokości, przy odpowiednio dobranej częstotliwości akustycznej). Jednakże w przypadku natrafienia na duży obiekt znajdujący się na dnie uzyskujemy przez to obraz tego obiektu będący zaledwie jego wycinkiem. (rys. 1). Niekiedy uniemożliwia to całkowicie określenie nawet przybliżonego rzeczywistego kształtu danego znaleziska. Inaczej sprawa przedstawia się w przypadku realizacji prac za pomocą echosondy wielowiązkowej. Tutaj przetworniki emitują nie jedną, ale wiele wiązek. Ich liczba zależy od przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych - średnio w granicach 130-180 wiązek. Wiązki te są emitowane promieniście, tworząc stożek o dość szerokiej podstawie w rejonie dna. Każda z nich dostarcza w miarę szczegółowych danych, które odpowiednio przetworzone pozwalają na tworzenie modeli przestrzennych dość szerokich pasów powierzchni dna. Tym samym w przypadku natrafienia nawet na duży obiekt podwodny zapewniają możliwość jego przedstawienia na sonogramie w całości lub znacznej większości. Wykorzystanie w post-processingu hydrograficznych systemów przetwarzania danych umożliwia tworzenie tzw. numerycznych modeli dna, które zwielokrotniają możliwości prezentacji i interpretacji uzyskanych danych.

¹ Pierwszy patent na urządzenie do podwodnej detekcji działające na zasadzie odbitego echa zostało zarejestrowane w Brytyjskim Urzędzie Patentowym przez L.F. Richardsona już w miesiąc po zatonięciu *Titanica*. Dzisiaj, powiedzielibyśmy, że był to pierwszy projekt urządzenia zwanego sonarem. Jednakże należy pamiętać, że określenie sonar pojawiło się dopiero podczas II wojny światowej i było ono amerykańskim skrótem od nazwy urządzenia *SOund NAvigation and Ranging*. Brytyjczycy nazywali ten typ urządzenia terminem ASDICS, który był skrótem od nazwy *Anti-Submarine Detection Investigation Committee*. Ogólnie przyjęło się w hydrografii, że urządzenia tego typu służące do pozyskiwania danych na temat głębokości nazywa się echosondami, zaś te, które przeznaczone są do wykrywania, lokalizowania i identyfikacji obiektów w toni morskiej lub na dnie – sonarami.

² SBES – Single Beam Echo Sounder; MBES – Multi Beam Echo Sounder



rys. 1. Fragmenty echogramów z SBES dwóch dużych wraków znajdujących się w granicach polskich obszarów morskich. Po lewej zaznaczono orientacyjne miejsce zarejestrowania echogramu na tle sylwetki wraku.

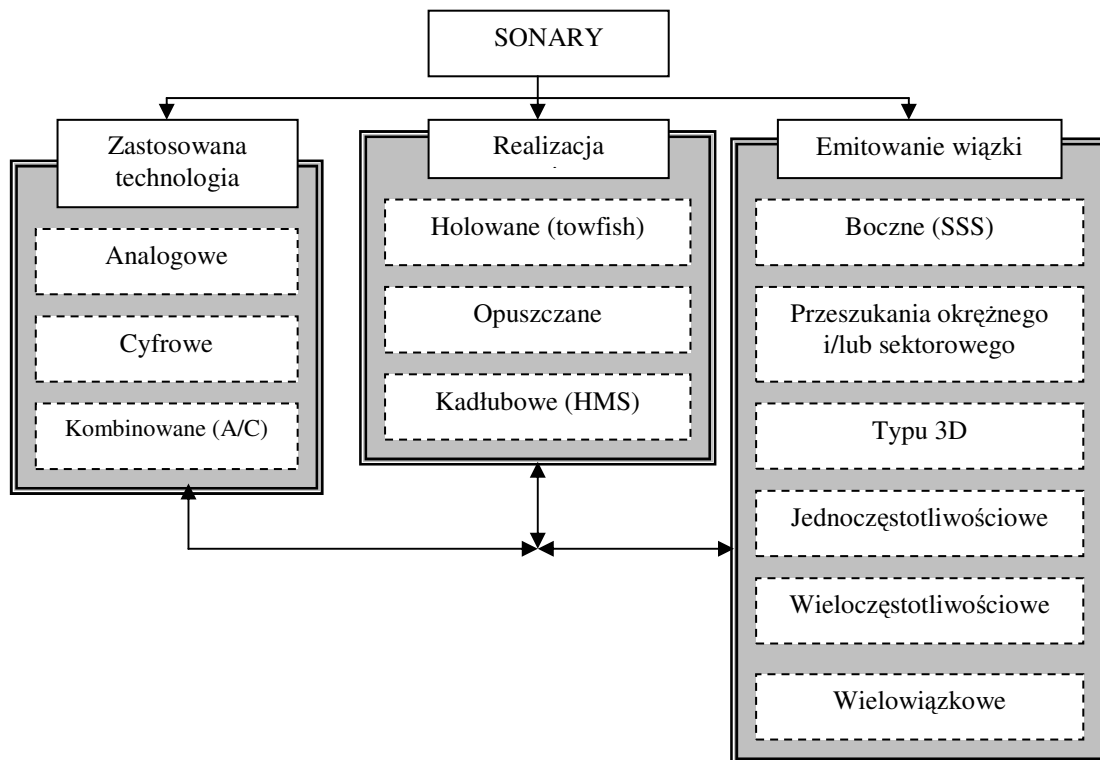


rys. 2. Numeryczny model dna z widocznym wrakiem wystającym ponad linię dna.

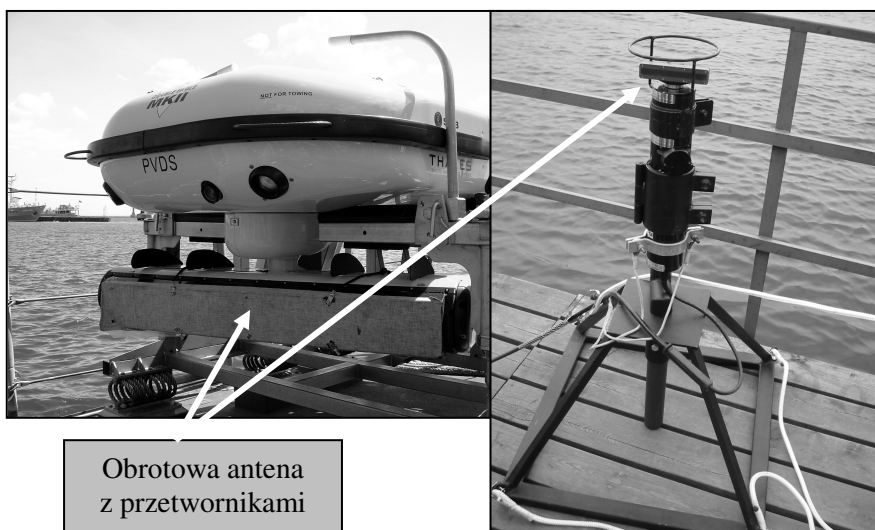
Jak widać zarówno SBES jak i MBES nie pozwalają na dokładne przedstawienie kształtu i poszczególnych elementów danego obiektu podwodnego. Stąd też wykorzystuje się inny środek pomiarowy - sonary. Również one należą do grupy urządzeń hydroakustycznych. W pracach poszukiwawczych są one wręcz niezastąpione. Ich działanie można przyrównać do oświetlania dna i przydennej strefy wody za pomocą latarki o silnym strumieniu światła³. W przypadku oświetlenia

³ Rolę światła w tym wypadku spełnia wiązka hydroakustyczna.

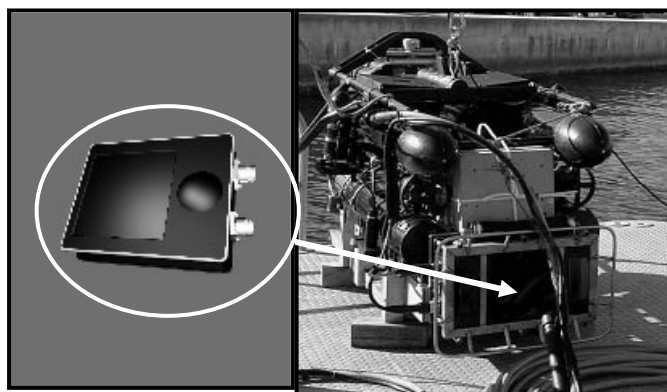
jakiegokolwiek obiektu podwodnego (w wyniku odbicia wiązki) uzyskuje się obraz, ale tylko oświetlonych jego elementów. Można uzyskać także cień od takiego obiektu. Pozwala on na określenie między innymi takich parametrów celu jak: kształt oraz wysokość zalegania ponad linię dna. Możliwości wykrycia zależą od wielu czynników technicznych, operatorskich i środowiskowych. Jednymi z najważniejszych są zastosowana technologia pozyskiwania i przetwarzania danych (analogowa lub cyfrowa), częstotliwość sygnału hydroakustycznego, głębokość zanurzenia przetworników sonaru oraz zastosowana metodyka prac poszukiwawczych. Na rysunku 3 przedstawiono podstawową klasyfikację sonarów w ujęciu hydrograficznym. Klasyfikacja ta nie uwzględnia „nosiciela”, na którym zostaje zamontowany dany sonar. W zdecydowanej większości są one instalowane na załogowych jednostkach pływających (kutry, motorówki, statki hydrograficzne). Jednakże istnieje możliwość zamontowania ich także na jednostkach bezzałogowych (pojazdy ROV i AUV). Możliwości każdego z typów w zakresie wykrywania i zobrazowania danych są zróżnicowane. Zostaną one przedstawione w dalszej części niniejszego opracowania.



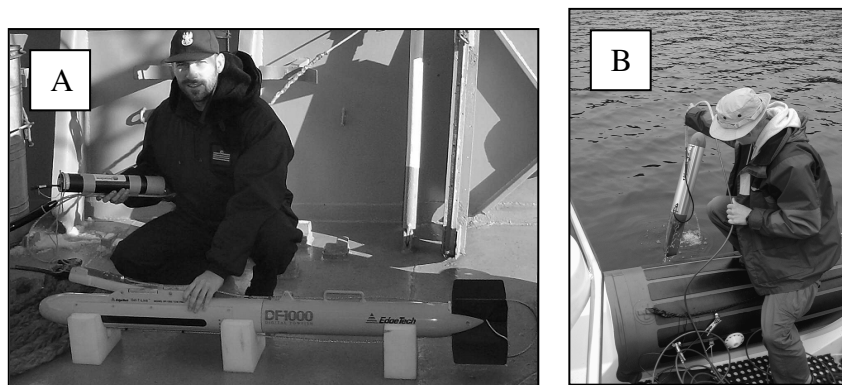
rys. 3. Klasyfikacja sonarów w ujęciu hydrograficznym



rys. 4. Przykłady sonaru przeszukania okrężnego i sektorowego. [A] – dwuczęstotliwościowego zamontowanego na pojeździe AUV; [B] – jednoczęstotliwościowego zamontowanego na podstawie opuszczanej na dno.



rys. 5. Przykład sonaru typu 3D zamontowanego na pojeździe ROV.



rys. 6. Przykład sonaru holowanego [A] – sonar cyfrowy z zamontowanym transponderem systemu nawigacji podwodnej przygotowany do zwodowania; [B] – sonar holowany CodaScan po zakończeniu pracy.

2. ZOBRAZOWANIE I INTERPRETACJA DANYCH Z HYDROAKUSTYCZNYCH ŚRODKÓW WYKRYWANIA OBIEKTÓW PODWODNYCH

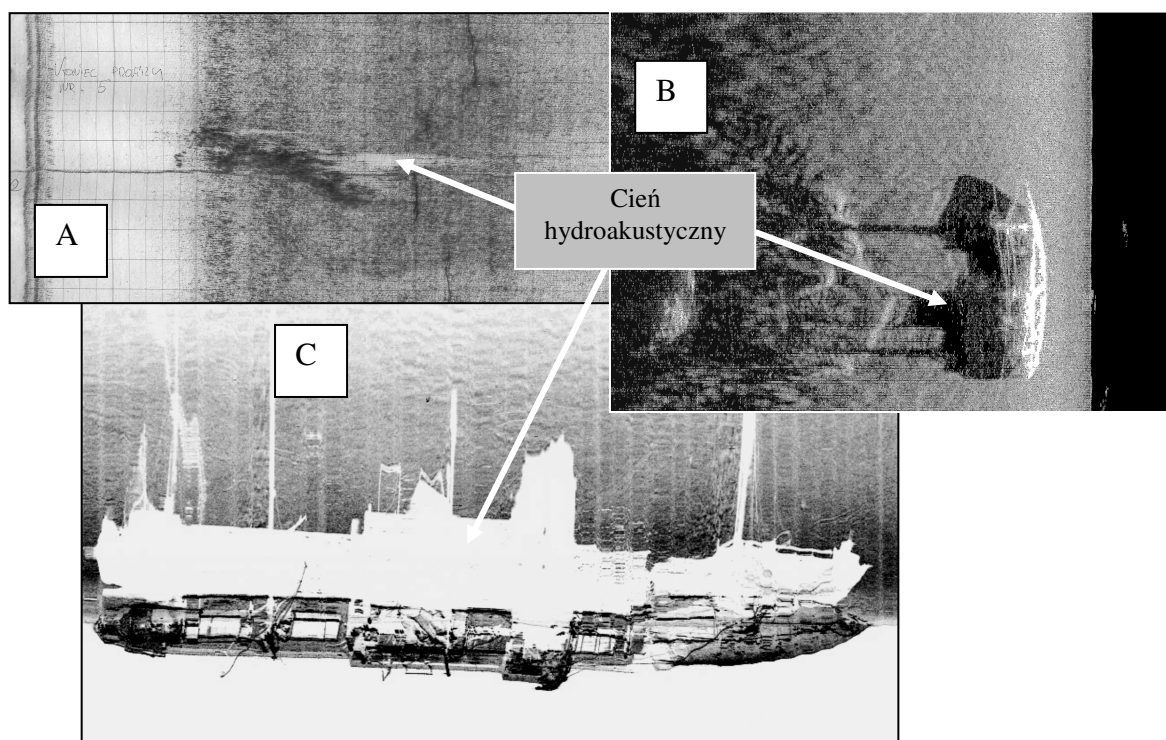
Proces pomiarów hydroakustycznych związanych z wykrywaniem i identyfikacją wykrytych obiektów podwodnych można podzielić na dwa zasadnicze etapy. Pierwszym z nich jest etap, w którym dokonuje się bezpośredniej rejestracji danych, drugim okres tzw. post-processingu, tj. przetwarzania zgromadzonych informacji. Biorąc pod uwagę pierwszy z wymienionych, trzeba tu wyraźnie zaznaczyć, iż musi on być poprzedzony wykonaniem pewnych prac wstępnych (zaliczanych do tzw. prac towarzyszących), podczas których dokonuje się określenia między innymi wartości wybranych parametrów środowiska morskiego mogących mieć wpływ na jakość zapisywanych danych pomiarowych oraz dokładność wykonywanych prac. W trakcie samej rejestracji realizuje się szereg czynności kontrolno-pomiarowych. Obejmują one między innymi określenie wartości odległości przetworników od dna, regulację wzmacnienia TVG⁴, kontrolę prowadzenia zapisu linii dna, wybór najwłaściwszych profili przejścia w celu uzyskania optymalnego oświetlenia obiektu przez wiązkę sonaru itd. Drugi etap w zasadzie jest wykonywany po zarejestrowaniu danych. Obejmuje on między innymi takie prace jak: „czyszczenie” danych, prowadzenie obróbki danych w celu uzyskania jak najwyraźniejszego sonogramu (wykorzystanie funkcji polepszania obrazu: np. wyostrzanie, zamiana obrazu pozytywowego na negatywowy, zmiana kolorów i wzmacnienia) oraz tworzenie zobrazowań dwuwymiarowych (2D) i przestrzennych, trójwymiarowych (3D). Prezentacje typu 3D tworzone są w oparciu o dane pomiarowe przetworzone do postaci modelu złożonego z nieregularnej siatki trójkątów (TIN) lub regularnej siatki kwadratów (GRID). Każdemu z tych modeli można przypisać odpowiednie przedziały wartości hipsometrycznych i skalę barw. Pozwala to na pewne uplastycznienie całego modelu i zwiększenie możliwości prawidłowej interpretacji nawet przez osoby nie legitymujące się odpowiednio wysokim poziomem wykształcenia hydrograficznego.

Jedną z najnowszych tendencji obserwowanych w hydrografii morskiej jest dążenie do uzyskiwania zobrazowań typu 3D będących złożeniem przetworzonych danych uzyskanych z dwóch różnych środków hydroakustycznych (np. z sonaru oraz sondy wielowiązkowej)⁵. Tego typu zobrazowania, oprócz nadzwyczajnych walorów estetycznych i doznań wzrokowych, stwarzają możliwość znacznego polepszenia warunków interpretacji uzyskanych danych. Często przyczyniają się do zmiany wyobrażenia o badanym obiekcie, o jego kształcie, stanie i położeniu.

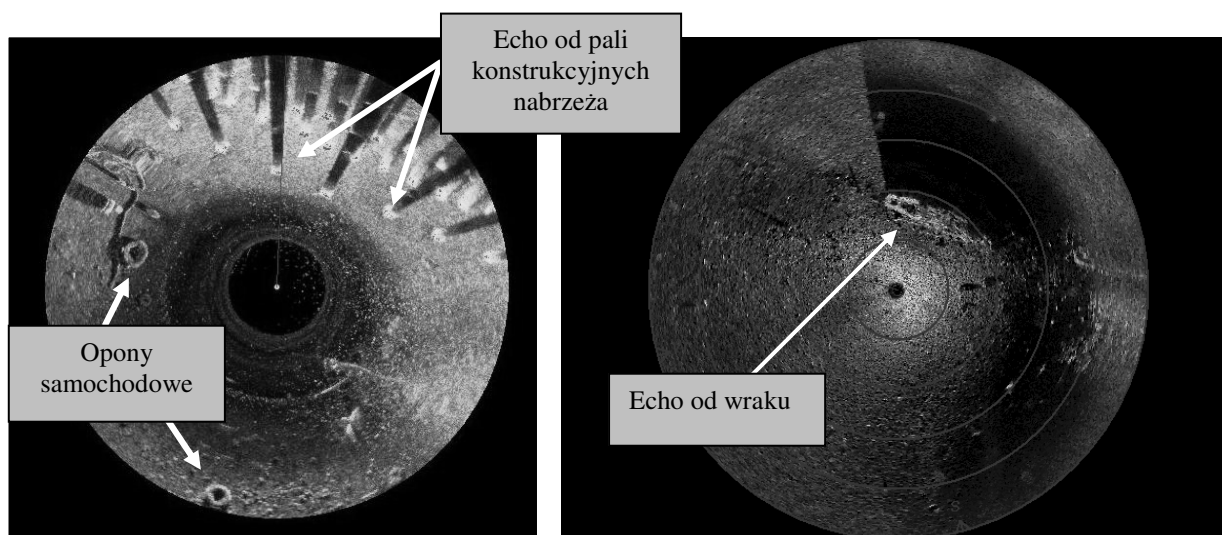
Pomimo wprowadzania do hydrografii morskiej nowych środków pomiarowych, jak np. laserowych systemów batymetrycznych, czy technik opartych na wykorzystaniu zdjęć lotniczych i satelitarnych (fotogrametria i teledetekcja) wydaje się, że hydroakustyczne środki wykrywania obiektów podwodnych w połączeniu z nowoczesnymi formami prezentacji danych (numeryczne modele dna, modele 3D, wysokorozdzielcze obrazy 2D) jeszcze na długo pozostaną podstawowym narzędziem pracy hydrografa.

⁴ Time Varying Gain.

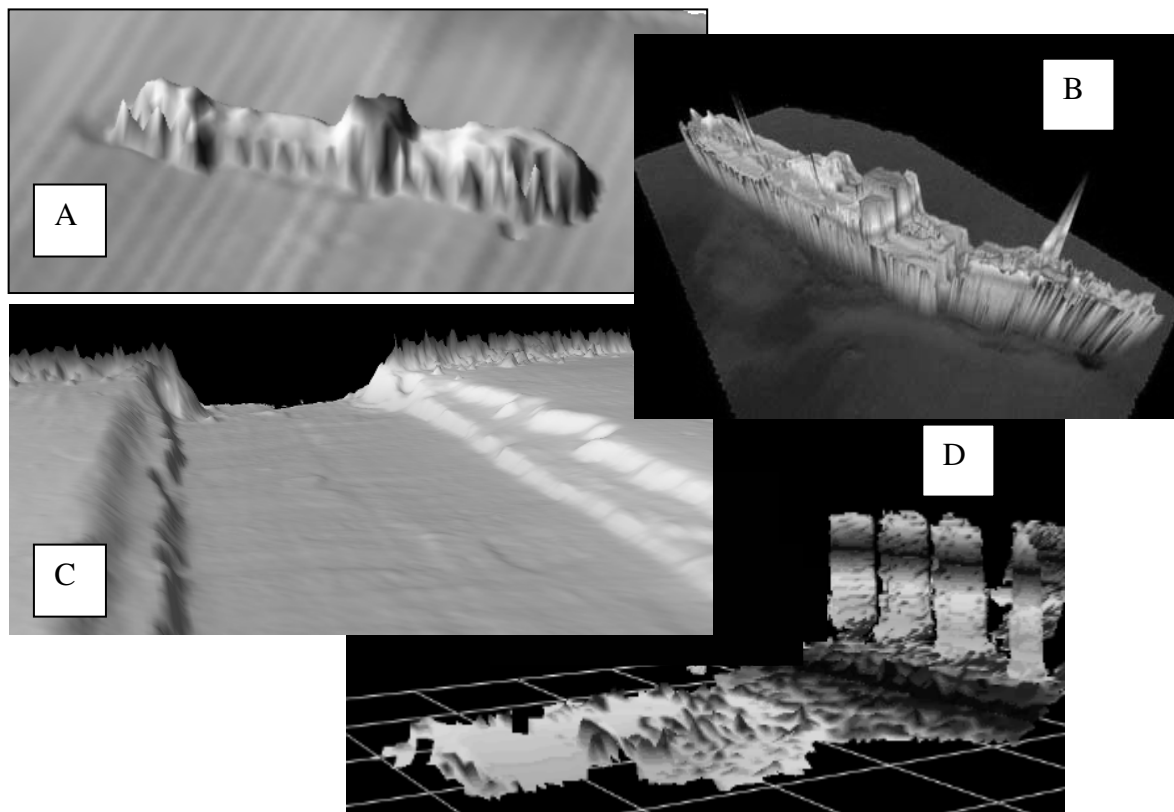
⁵ Jest to efekt przeniesienia na grunt hydrografii morskiej sposobów prezentacji danych wykorzystywanych w systemach informacji przestrzennej, rozpoznania lotniczego i satelitarnego zawartych np. w aplikacjach firmy ESRI, GeoNova, Intergraph.



rys. 7. Przykład zobrazowania danych [A] - z analogowego sonaru typu HMS; [B], [C] - z cyfrowego sonaru holowanego (zobrazowanie typu 2D).



rys. 8. Przykład zobrazowania danych z sonaru opuszczanego przeszukania okrężnego i sektorowego (zobrazowanie typu 2D), [A] - fragment dna w jednym z basenów portowych; [B] - obraz wraku.



rys. 9. Przykłady opracowanych numerycznych modeli dna. Zobrazowanie typu 3D. [A], [B] – wraków znajdujących się na polskich obszarach morskich; [C] – fragmentu dna toru podejściowego do portu w Gdyni; [D] – fragmentu podwodnej części budowli morskiej (nabrzeża portowego).

ŹRÓDŁA POZYSKANIA ZAMIESZCZONYCH RYSUNKÓW:

- rys. 1. [A] – Marynarka Wojenna RP (pomiarzy ORP *Arctowski*, 2004 r.)
 [B] – Marynarka Wojenna RP (pomiarzy ORP *Heweliusz*, 1991 r.)
- rys. 2. PetroBaltic (2004 r.)
- rys. 3. Opracowanie własne D. Grabiec (2004 r.)
- rys. 4. [A], [B] – foto. D. Grabiec (2004 r.)
- rys. 5. CodaOctopus Ltd. (2004 r.)
- rys. 6. [A],[B] – foto. D. Grabiec (2004 r., 2003 r.)
- rys. 7. [A] – Marynarka Wojenna RP (pomiarzy ORP *Heweliusz*, 1991 r.)
 [B] - Marynarka Wojenna RP (pomiarzy ORP *Arctowski*, 2003 r.)
 [C] - Marynarka Wojenna RP (pomiarzy ORP *Arctowski*, 2003 r.)
- rys. 8. [A] – Marynarka Wojenna RP (pomiarzy AMW 2004 r.)
 [B] – Internet: www.kongsberg-mesotech.com (czerwiec 2004 r.)
- rys. 9. [A] – PetroBaltic (2004 r.)
 [B] – Internet: www.ms-fritz-reuter.de (marzec 2004 r.)
 [C] - Marynarka Wojenna RP (pomiarzy *M-40*, 2003 r.)
 [D] – CodaOctopus Ltd. (2004 r.)

Recenzent: dr inż. R. Kłós

Autor:

dr D. Grabiec – Akademia Marynarki Wojennej