

Kmdr ppor. dr inż. Dariusz Grabiec

Hydrografia morska - Quo vadis?

(Krótkie spojrzenie na kierunki rozwoju hydrograficznych metod i środków pomiarowych)

Technika wykonywania pomiarów hydrograficznych była i jest zależna od stanu wiedzy człowieka oraz możliwości technicznych i technologicznych opracowania oraz wytworzenia przyrządów i urządzeń do tego przeznaczonych. Różnorakie potrzeby dyktują nie tylko konieczność wykrywania w toni morskiej obiektów ukrytych tam przed wzrokiem człowieka, ale i uzyskiwania bliższych informacji o ich charakterze, położeniu i zachowaniu się. Penetrowanie podwodnych obszarów nie odbywa się już tylko pionowo, lecz w każdym dowolnym kierunku. Wszystko to wykonuje się już nie tylko za pomocą pojedynczych przyrządów i urządzeń, ale całych hydrograficznych systemów pomiarowych, w których oprócz elementów pomiarowych znajdują się także podsystemy przetwarzania uzyskiwanych danych. W większości przypadków elementami pomiarowymi w tych systemach są urządzenia hydroakustyczne, czyli echosondy i sonary. Urządzenia te poddawane są ciągłym modyfikacjom zwiększającym w istotny sposób parametry tego sprzętu (interesujące każdego hydrografa) choćby takie jak zasięg pracy, rozróżnialność, prędkość (przy jakiej można jeszcze mówić o zachowaniu poprawnych warunków pracy), dokładność mierzonego parametru, szybkość i sposób przetwarzania danych. Istotnym czynnikiem, który miał znaczący wpływ na omawiane zagadnienie było zastosowanie techniki cyfrowej. Jest ona w pomiarowych. Śmiało można tutaj powiedzieć, że w konsekwencji zrewolucjonizowała ona w dużym stopniu zarówno dotychczasowe sposoby jak i metody pomiaru hydrograficznego. Jednakże technologia cyfrowa w hydrografii to nie wszystko. Niekiedy stanowi ona tylko wyśmienitą bazę do wprowadzania innych rozwiązań i udoskonaleń.

Biorąc pod uwagę rozwój hydrograficznych metod i środków pomiarowych oraz dokonując już zaledwie ograniczonej analizy kierunków ich rozwoju można określić kilka „płaszczyzn”, na których obserwuje się najwięcej zmian. W mojej ocenie dotyczą one:

- Unowocześniania środków przenoszenia wyposażenia hydrograficznego;
- Stosowania technik dotychczas wykorzystywanych wyłącznie w systemach militarnych;

- Wdrażania nowych metod pomiarowych opartych na wykorzystaniu fali elektromagnetycznej;
- Wprowadzania zintegrowanych systemów zarządzania danymi hydrograficznymi mogącymi spełniać funkcje planowania, realizacji prac oraz końcowego przetwarzania danych;
- Wykorzystywania specjalistycznych technik powiązanych z geomatyką opartych na analizach obrazowych i danych hybrydowych (film + zdjęcie + grafika wektorowa, prezentacje 3D).

Oczywiście nie należy zapominać o rozwoju już znanych i stosowanych w hydrografii morskiej systemów i urządzeń przeznaczonych do pozyskiwania informacji o dnie i obiektach na nim zalegających (sonarów, echosond i mierników zmian pola magnetycznego Ziemi) oraz przyrządów zabezpieczających prawidłową realizację pomiarów hydroakustycznych (stacje CTD, STD i inne). Jest to związane z coraz powszechniejszym wykorzystywaniem takiego sprzętu hydrograficznego do zabezpieczenia technicznego tzw. prac „offshore”. Prace tego typu związane między innymi z układaniem podmorskich rurociągów i kabli oraz inspekcją morskich budowli hydrotechnicznych wymagają parametrów zapewniających wysoką dokładność pomiaru oraz odpowiednią jakość zobrazowania danych. Jednym z głównych celów podejmowanych działań (oprócz chęci uzyskania odpowiedniego poziomu dokładności pomiaru) jest rozwiązanie problemu istotnego zmniejszenia ilości czasu niezbędnego do wykonania pomiarów hydrograficznych na większych powierzchniowo akwenach oraz realizacji tychże pomiarów w akwenach uznanych za niebezpieczne pod względem żeglugi, tj. akwenach z małymi głębokościami lub z wybrzeżem typu szkieletowego.

Wszystko to powoduje, że proces rozwoju technik pomiarowych odniesiony do pomiaru hydrograficznego nie został zakończony, a wręcz przeciwnie. Spowodowało to podjęcie prac zmierzających do rozwiązania tych problemów na drodze wprowadzania do użytku nowych generacji systemów pomiarowych opartych na technice „sondażu akustycznego” i instalowanych na pojazdach zwanych AUV/UUV¹, na technikach pomiarowych opartych na wykorzystaniu fal elektromagnetycznych, a także technikach związanych z takimi pojęciami jak teledetekcja i fotogrametria.

Fakt wprowadzenia do hydrografii morskiej wymienionych powyżej pojazdów AUV/UUV możemy traktować jako przejawy unowocześniania środków przenoszenia wyposażenia hydrograficznego. Doskonałymi przykładami takich pojazdów są konstrukcje Hugin 3000 firmy Kongsberg-

¹ Oznaczenia AUV lub UUV wywodzą się od nazw AUV – *Autonomous Underwater Vehicle* oraz UUV – *Un-tethered Underwater Vehicle*, które można przetłumaczyć odpowiednio jako autonomiczny pojazd podwodny oraz „niespętany” pojazd podwodny.

Simrad² oraz Maridan 600 AUV duńskiej firmy Maridan³. W zasadzie są to małe bezzałogowe pojazdy badawcze, nie posiadające fizycznego połączenia w relacji pojazd – operator, mogące operować w akwenach trudnych nawigacyjnie lub niebezpiecznych dla człowieka i realizować szeroki zakres pomiarów hydrograficznych dzięki przenoszonemu na ich pokładzie wyposażeniu. Wyposażenie to najczęściej obejmuje: sonar boczny, profilier osadów, sondę wielowiązkową i jednowiązkową, niekiedy także kamerę cyfrową. Pozycjonowanie odbywa się poprzez wykorzystywanie technik GPS współpracujących z platformami INS – systemów nawigacji inercyjnej. Innym przejawem współczesnych tendencji rozwoju środków przenoszenia wyposażenia hydrograficznego jest budowanie nowych jednostek pływających, których konstrukcja coraz częściej opierana jest na kadłubie typu katamaran (przykładem może tu być statek RV *IMOR* budowany z przeznaczeniem dla potrzeb Instytutu Morskiego w Gdańsku) oraz trimaran (np. statek RV *Triton*). Przyjęcie takich rozwiązań w istotny sposób ma się przyczyniać nie tylko do zwiększenia parametrów ruchu, ale także do zwiększenia dzielności morskiej (stworzenia stabilniejszej platformy pomiarowej) oraz powierzchni użytecznej przy zachowaniu niewielkiej długości kadłuba (możliwość instalacji większej ilości sprzętu pomiarowego). Jedną z ciekawszych konstrukcji jednokadłubowych jest okręt hydrograficzno-oceanograficzny o nazwie *Beautemps-Bopre* eksploatowany wspólnie, przez służbę hydrograficzno-oceanograficzną francuskich sił morskich oraz organizację cywilną IFREMER. Na jednostce tej większość przetworników od systemów hydroakustycznych zamontowano w specjalnych skrzydłach zainstalowanych poniżej linii wodnej. Takie rozwiązanie oprócz stworzenia możliwości zainstalowania „wielko powierzchniowych” przetworników echosond niskiej częstotliwości (przeznaczonych do realizacji pomiarów głębokości z zakresu 500-7000m) dodatkowo przyczynia się do zapewnienia ogólnej stabilizacji okrętu i wspomaganie systemów korekcyjnych typu „roll-pitch-heading”. Kończąc to krótkie omówienie nowych środków pływających nie można pominąć spraw związanych z przenikaniem technologii typowo militarnych na grunt hydrografii „cywilnej”. Jednym z jej przejawów, oprócz wykorzystywania

² Maksymalne zanurzenie, na jakim może pracować ten pojazd wynosi 3000 metrów, jego baterie pozwalają na samodzielną pracę do 50 godzin i przeplnięcie 320 kilometrów, promień skrętu wynosi 15 metrów, długość całkowita 5,35 metra, zaś waga dochodzi do 1200 kg.

³ Pojazd ten może operować na głębokości do 600 metrów. Posiadane baterie pozwalają mu na pracę w normalnych warunkach przez okres 10 godzin i przeplnięcie odległości równej 36 km. Przy wadze 1700 kg ma on następujące wymiary: długość – 4,5 m; szerokość – 2 m i wysokość – 0,6 m. Pojazd ten wyposażono w sonar boczny Klein 2000, sondę wielowiązkową - Reson SeaBat 8125 oraz w echosondę *Sub Bottom Profiler* o nazwie *Geo Chirp*. Opcjonalnie istnieje możliwość zamontowania kamery cyfrowej.

pojazdów AUV/UUV, jest wprowadzanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych pojazdów ROV⁴. Doskonałym przykładem są tutaj konstrukcje: pojazdu ROV SeaFox (SeeFuchs), pierwotnie skonstruowanego dla potrzeb wykrywania oraz niszczenia min i obiektów dennych, a także nowe rozwiązanie pojazdu określanego mianem PVDS⁵. Dzięki uproszczonym procedurom sterowania za pomocą komend przekazywanych do pojazdu poprzez kablolinę, zainstalowanemu wyposażeniu (kamery TV, sonary, manipulatory i chwytaki) pojazdy takie w coraz większym stopniu są wykorzystywane w hydrografii morskiej w charakterze środków przeznaczonych do poszukiwania, identyfikacji lub weryfikacji obiektów dennych (zarówno tych dużych np. wraków, jak i małych np. kotwic, itp.). Moim zdaniem ich rola w pomiarach hydrograficznych będzie w najbliższej przyszłości stale się zwiększać. Świadczyć o tym mogą informacje o ilości podejmowanych przedsięwzięć hydrograficznych z udziałem ROV i PVDS oraz oferty firm zajmujących się zarówno konstruowaniem samych pojazdów, jak i elementów wyposażenia hydrograficznego przewidywanego do zamontowania na takich pojazdach.

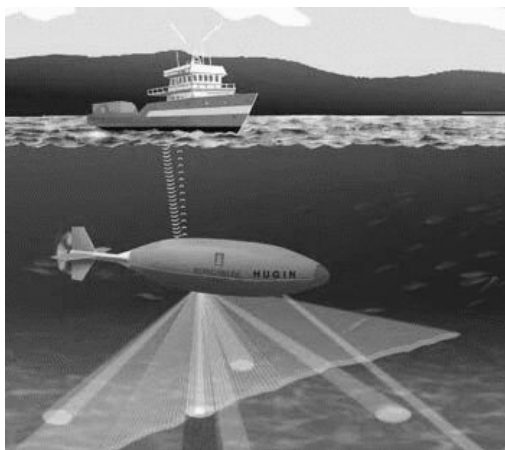
Innym przykładem przenikania technologii wojskowych do działań hydrograficznych jest coraz powszechniejsze wykorzystywanie tzw. laserowych systemów batymetrycznych typu ALB/ALH⁶. Jest to zresztą ściśle połączone z kolejnym kierunkiem, w jakim podąża współczesna hydrografia morska - dążeniem do wdrożenia nowych metod pomiarowych opartych na wykorzystaniu fali elektromagnetycznej w postaci wiązki laserowej. W praktyce na świecie funkcjonuje już kilka takich systemów. Wymienić tu z pewnością wypada kanadyjski system Larsen, amerykański Shoals, australijski LADS, szwedzki HawkEye. Istotą pomiaru głębokości w tych systemach jest pomiar różnicy czasu, jaki upływa od momentu odbioru części wiązki laserowej, która uległa odbiciu od powierzchni wody do momentu odbioru części wiązki odbitej od dna morskiego. Niewątpliwą zaletą takich systemów jest możliwość prowadzenia pomiarów batymetrycznych w akwenach trudnych lub niedostępnych pod względem nawigacyjnym oraz szeroka wiązka przeszukania podczas pracy na jednym profilu. Tak jak echosonda wielowiązkowa zrewolucjonizowała pomiary prowadzone na średnich i dużych głębokościach, tak systemy ALB/ALH

⁴ ROV – *Remotely Operated Vehicle*, uwięziowy pojazd podwodny sterowany przez operatora zdalnie poprzez wleczoną za pojazdem kablolinę.

⁵ PVDS – *Propped Variable Depth Sonar*, rodzaj pojazdu ROV wyposażonego w sonar przeszukiwania okrężnego i sektorowego z obrotową anteną przetwornika.

⁶ ALB – *Airborne Lidar Bathymetry* lub ALH – *Airborne Lidar Hydrography*. Pierwsze systemy laserowe przeznaczone były do zadań związanych z wykrywaniem obiektów zanurzonych w wodzie, głównie podwodnych, przeciwdesantowych konstrukcji technicznych oraz min morskich rozmieszczonych w strefach przybrzeżnych.

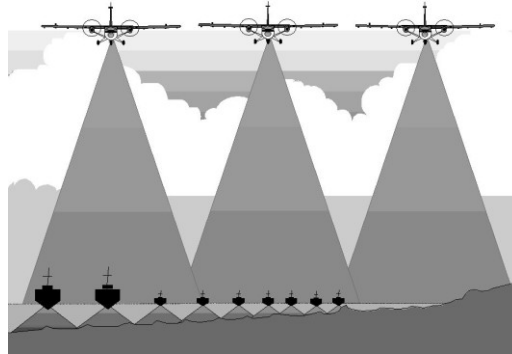
zrewolucjonizowały sprawy pomiarów w wodach przybrzeżnych z głębokościami mniejszymi niż 40 metrów. Systemy te mają jeszcze jedną zaletę – pozwalają niemal równocześnie otrzymywać nie tylko informacje batymetryczne z bezpośredniej strefy brzegowej, ale także uzyskiwać dane na temat przebiegu i ukształtowania samej linii brzegowej. Wybór tego rodzaju akwenów nie był przypadkowy, wynikał w prostej linii z możliwości pracy takiego systemu – przenikanie promienia lasera do głębokości około 20 m. Współcześnie, dzięki zastosowaniu wielu ulepszeń wartość ta uległa znacznemu zwiększeniu i wynosi obecnie średnio około 40-50 m dla akwenów o czystej wodzie, 20-40 m w akwenach przybrzeżnych i mniej niż 20m w akwenach z dużą ilością mętnej wody. Stąd też wymienione powyżej laserowe systemy pomiarowe mają w swoich nazwach określenie *Lidar*, które pochodzi od nazwy *Light Detection and Ranging*. Wadą systemów ALB/ALH jest jednak jeszcze stosunkowo mała rozdzielczość zależna w dużym stopniu od lokalnych warunków hydrometeorologicznych i hydrologicznych⁷. Ponadto istnieje dość duże ryzyko przypadkowego uszkodzenia wzroku osób przebywających w strefie działania lasera i przyglądających się pomiarom⁸.



Rys. 1. Prezentacja sposobu realizacji pomiarów sondażowych za pomocą autonomicznego pojazdu podwodnego typu AUV.

⁷ Zasadniczo uznaje się, że spełniają one wymagania dla pomiarów batymetrycznych prowadzonych w akwenach kategorii 1 - klasyfikacja wg. IHO S-44. Przeglądając dokumentację firmy Airborn Hydrography AB (AHAB) znaleźć można także informację, że w niektórych przypadkach systemy ALB/ALH spełniają także wymagania dla pomiarów batymetrycznych zaliczanych do kategorii specjalnej.

⁸ Szwedzka Administracja Morska eksploatująca system HawkEye-2 w zdecydowanej większości przypadków pomiary takie prowadzi w okresach, w których nie ma wielu ludzi na plażach np. nocą lub wiosną i jesienią.



Rys. 2. Porównanie ilości profili koniecznych do otrzymania obrazu dna wykonywanych z pokładu jednostki pływającej za pomocą sondy wielowiązkowej i z pokładu samolotu za pomocą systemu ALB/ALH.

Inną metodą zdobywania wiedzy nt. środowiska morskiego oraz ukształtowania dna jest wykorzystywanie osiągnięć teledetekcji i fotogrametrii z użyciem sztucznych satelitów Ziemi. Przyzwyczajaliśmy się już do zdobywania za pomocą tych środków takich danych jak: rozkład powierzchniowy temperatury wody, obserwacja powierzchniowych prądów morskich itd. Natomiast pewne zdziwienie może budzić fakt realizacji pomiarów batymetrycznych⁹.

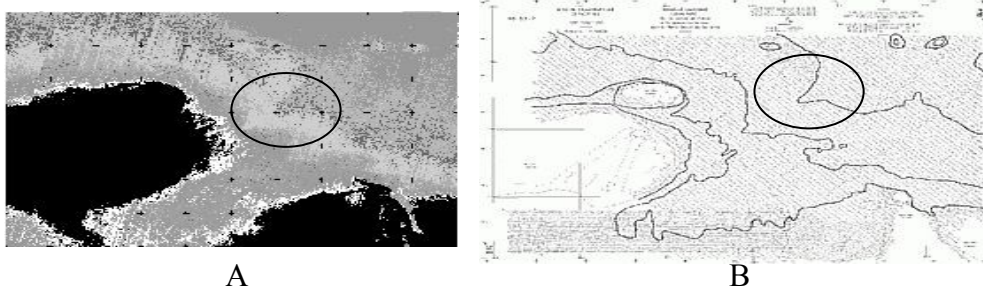
Idea pomiaru batymetrycznego za pomocą satelity, mówiąc w dużym uproszczeniu, opiera się na pomiarze poziomu radiometrii, tj. intensywności promieniowania słonecznego odbitego przez lądy i obszary dna leżące wzdłuż tych lądów i wykonaniu odpowiednich zdjęć, które poddawane są następnie głębokim analizom. Wykorzystuje się tu fakt, że tam, gdzie głębokości są większe, tam poziom zmierzonej radiometrii słabnie, co jest wynikiem absorbowania większości promieniowania słonecznego. Współczesne możliwości rozdzielcze wykonywanych zdjęć satelitarnych pozwalają na wykrywanie w czystych wodach obiektów będących na głębokościach do 22÷25 metrów za pomocą tzw. kanału podczerwieni XS1 i głębokości rzędu 5÷7 metrów na kanale XS2. Trzeci kanał XS3, nie wnosi nic nowego, jeżeli chodzi o informację batymetryczną, jednakże pozwala na dokładne określenie granicy woda-ląd.

⁹ Pierwsze udane próby związane z pomiarami głębokości prowadzonymi za pomocą sztucznych satelitów Ziemi przeprowadzone były już w 1984 r. przez Służbę Hydrograficzną i Oceanograficzną Sił Morskich Francji (SHOM) w ramach programu badawczego PEPS – *Programme d’Evaluation Preliminnaire de Spot*. Pomiary te prowadzono wykorzystując możliwości, jakie oferowała teledetekcja na podstawie zdjęć satelitarnych wykonanych przez satelity SPOT.

Sam pomiar głębokości opiera się na stworzeniu swego rodzaju modelu na podstawie, którego można odczytać intensywność sygnału radiometrycznego mierzonego przez satelitę. Można to wykonać dwojako:

- Opierając się na metodzie fizycznej, która wymaga znajomości wszystkich parametrów koniecznych do stworzenia modelu, takich jak właściwości optyczne wody, współczynnik odbicia dna, przepuszczalność atmosferyczna właściwa itp.;
- Opierając się na metodzie empirycznej polegającej na swym rodzaju dopasowywaniu współczynników modelu do fragmentów rzeczywistych danych, wykonanych tylko w pewnym obszarze testowym.

Obliczony model za pomocą każdej z wyżej wymienionych metod dostarcza obrazu jednokanałowego 256-warstwowego, gdzie każdy piksel obrazu akwenu jest przedstawiany już nie przez jeden pomiar radiometryczny, ale przez jedną obliczoną wartość głębokości.



Rys. 3. Porównanie ogólnego przebiegu układu izobat tego samego akwenu uzyskanego na drodze pomiarów satelitarnych (A) i tradycyjnych pomiarów sondażowych (B). Widać wyraźnie ogólne podobieństwo układu izobat w wielu fragmentach obu opracowań – elipsą zaznaczono tylko jeden charakterystyczny obszar.

Otrzymane tym sposobem rezultaty niestety jeszcze nie gwarantują osiągnięcia poziomu dokładności pomiarów sondażowych, jakie zostały narzucone przez Międzynarodową Organizację Hydrograficzną IHO. Jednakże wyniki są na tyle obiecujące, że SHOM nadal prowadzi w tym kierunku badania. Niemniej dla potrzeb hydrografii, wykonywane są już mapy i plany batymetryczne obszarów i akwenów z rafami koralowymi, na których prowadzenie pomiarów sondażowych tradycyjnymi metodami jest mocno utrudnione lub wręcz niemożliwe, a ponadto warunki panujące w danym akwenu (np. duża czystość i przezroczystość wód, małe głębokości, ograniczone możliwości żeglugi statków lub ich brak) predysponują je do tego, by pomiary batymetryczne dla potrzeb kartografii morskiej prowadzić właśnie za pomocą opisanych powyżej technik.

Satelitarne techniki pomiarowe to już nie tylko pozycjonowanie obiektów w przestrzeni, ale także szybki sposób na uzyskiwanie danych

pomiarowych z dużych obszarów Ziemi, a właściwie akwenów na niej znajdujących się. Należy tu także podkreślić, że wraz z rozwojem technik opartych na laserach, teledetekcji i fotogrametrii nie zaniebuje się tradycyjnych „hydrograficznych” systemów pomiarowych, takich jak echosondy i sonary. Ich rozwój obecnie idzie w kierunku precyzyjnego i niemal automatycznego przetwarzania danych pomiarowych, co wobec ogromnej liczby informacji pozyskiwanych za ich pomocą wydaje się działaniem całkowicie zrozumiałym. Stąd też na rynku hydrograficznym coraz częściej pojawiają się nie nowe urządzenia, ale raczej oprogramowania do komputerów przeznaczonych do współpracy z już istniejącymi przyrządami, urządzeniami i systemami pomiarowymi. Ich zadaniem jest zapewnienie nie tylko lepszego zarządzania procesami akwizycji danych, ale także przetwarzania danych – wstępnego w czasie rzeczywistym i pełnego w post-processingu. Spośród wielu użytecznych dla hydrografa funkcji należy wymienić chociażby możliwość tworzenia numerycznych modeli DTM lub DEM, mozaikowania czy też pracy na plikach i obrazach georeferencyjnych.

W przypadku nowych konstrukcji echosond wielowiązkowych i sonarów szczególny nacisk kładziony jest na zapewnienie możliwie wysokiej gęstości pomiarów, a w konsekwencji także rozdzielczości uzyskiwanych obrazów. Oczekiwany efekt ma być zwiększenie możliwości wykrywania małych obiektów podwodnych o powierzchni przynajmniej 0,3 – 0,5 m² przy jednoczesnym zachowaniu stosunkowo dużych zakresów odległości ich wykrycia. By sprostać temu zadaniu tworzy się konstrukcje wykorzystujące nie tylko kanały dwu-, trzy częstotliwościowe, ale także techniki emisji podwójnej wiązki hydroakustycznej (umożliwiającej realizację prac z większymi prędkościami lub z większą gęstością danych pomiarowych) oraz przetworniki matrycowe typu 3D (zapewniające jednoczesne przeszukanie pewnego wycinka sfery przed sonarem).

Połączenie wysiłków w zakresie oprogramowania i sprzętu skutkuje osiągnięciem czasami niezwykłych - dla starszego pokolenia hydrografów, efektów prac hydrograficznych. Należy jednak pamiętać, że wykorzystywanie ich jest związane z koniecznością odpowiedniego przygotowania personelu go obsługującego, poniesienia znacznych kosztów nabycia sprzętu i oprogramowania oraz długim czasem wdrażania i szkolenia. Nie należy także zapominać, że uzyskiwanie dokładnych danych pomiarowych jest możliwe niekiedy wyłącznie przy zastosowaniu szeregu systemów wspomagających zasadniczy pomiar badanego parametru (np. w przypadku pomiaru głębokości za pomocą systemów hydroakustycznych – GPS RTK, DGPS, INS, platformy stabilizacji, CTD i inne).

Zdaniem autora, mając na uwadze ciągły postęp techniczny i to w wielu różnych dziedzinach niniejsze opracowanie nie w pełni wyczerpuje tematykę związaną z kierunkami rozwoju hydrograficznych metod i środków pomiarowych. Przedstawiono tylko te zasadnicze. Wydaje się, że oprócz grupy systemów hydroakustycznych największe perspektywy wykorzystania mają dzisiaj laserowe systemy batymetryczne. Zapewne głównym argumentem przemawiającym za wprowadzeniem ich do eksploatacji będzie krótki czas niezbędny na uzyskiwanie danych pomiarowych z dużych powierzchniowo obszarów oraz aspekt ekonomiczny – koszt wysłania samolotu lub śmigłowca będzie wielokrotnie niższy od kosztów wysłania jednostki pływającej. Systemy te mają także największe szanse sprostanania wszystkim wymogom IHO pod względem dokładności pomiaru.

Bibliografia

Alain Fourgassie, *L'hydrographie moderne*, „Cols Bleus” 2000, nr 6, s.10-13;
Marc Sinclair, *LADS Survey – A case Study on Austaralia's Northwest Shelf*, „The International Hydrographic Review” 2002, nr 2, vol 3, s. 53-66;
W. Jeff Lillycrop, *Utilizing airborne lidar bathymetry technology for rapid environmental assessment*, „Sea Technology” 2001, nr 42/6, s. 10-15;
Gary C. Guenther, W. Jeff Lillycrop, John R. Banic, *Future Advancements in Airborne Hydrography*, „The International Hydrographic Review” 2002, nr 2, vol 3, s. 67-90;
Internet.

Rysunki

Rys. 1	Źródło: www.kongsberg-simrad.com .
Rys. 2	Źródło: http://shoals.sam.usace.army.mil
Rys. 3	Źródło: www.shom.fr