

POWSTANIE I ROZWÓJ TECHNOLOGII ECHOSONDY WIELOWIĄZKOWEJ

Artur Grządziel, Mariusz Wąz

Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia

STRESZCZENIE

Kiedy człowiek opanował umiejętność podróżowania drogą morską, zaczął się zastanawiać, jaka jest głębokość pod stępką i jak ją zmierzyć. Początkowo uprawiano jedynie żeglugę przybrzeżną. W tej części szelfu kontynentalnego dynamicznie rozwijała się żegluga statków handlowych, rybołówstwo, podwodne badania naukowe, nurkowanie rekreacyjne, eksploracja zasobów mineralnych, technologie układania kabli podmorskich i rurociągów. Rozwój tych gałęzi spowodował, że dokładna informacja batymetryczna odgrywała istotne znaczenie dla kapitanów, armatorów, marynarzy, naukowców i rybaków.

Opracowanie kartograficzne prymitywnej mapy morskiej było ogromnym wyzwaniem. Był to żmudny proces, wymagający przede wszystkim dużej ilości danych, które pozyskiwane były mało wydajnymi metodami pomiarowymi. Wraz z rozwojem technologii pojawiały się nowe techniki i metody eksploracji oceanów. Technologia, systemy, urządzenia i przyrządy do podwodnej eksploracji przeszły długą drogę zmian, modernizacji i ulepszeń, stwarzając ostatecznie ogromne możliwości wizualizacji powierzchni dna jako trójwymiarowych modeli przestrzennych. Ważną rolę w tych przemianach odegrała echosonda wielowiązkowa MBES (ang. Multibeam Echosounder), która zrewolucjonizowała badania hydrograficzne. Urządzenia MBES okazały się skutecznym środkiem badań zarówno hydrograficznych jak i oceanograficznych.

Słowa kluczowe: sonda ręczna, sonda mechaniczna, echosonda, sonda wielowiązkowa.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2018 Vol. 62 Issue 1 pp. 33 - 42

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2018-0002

Strony: 9, rysunki 3, tabele: 0

page **www of the periodical:** www.phr.net.pl

Typ artykułu: przeglądowy

Termin nadesłania: 10.11.2017 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 28.12.2017 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Dziś w pomiarach głębokości dominują akustyczne metody badawcze ze względu na ich wysoką efektywność. Wśród nich zdecydowanie największą skutecznością charakteryzują się systemy echosond wielowiązkowych MBES (ang. *Multibeam Echosounder*), zdolne do jednoczesnego pomiaru głębokości w kilkudziesięciu punktach powierzchni dna. Zaleta ta z pewnością wpłynęła na wzrost popularności tych urządzeń, szczególnie w badaniach hydrograficznych. Nieograniczony dostęp i coraz niższe koszty produkcji MBES spowodowały, że coraz częściej zastępują one klasyczne sondy jednowiązkowe.

PIERWSZE PRZYRZĄDY I URZĄDZENIA DO POMIARU GŁĘBOKOŚCI

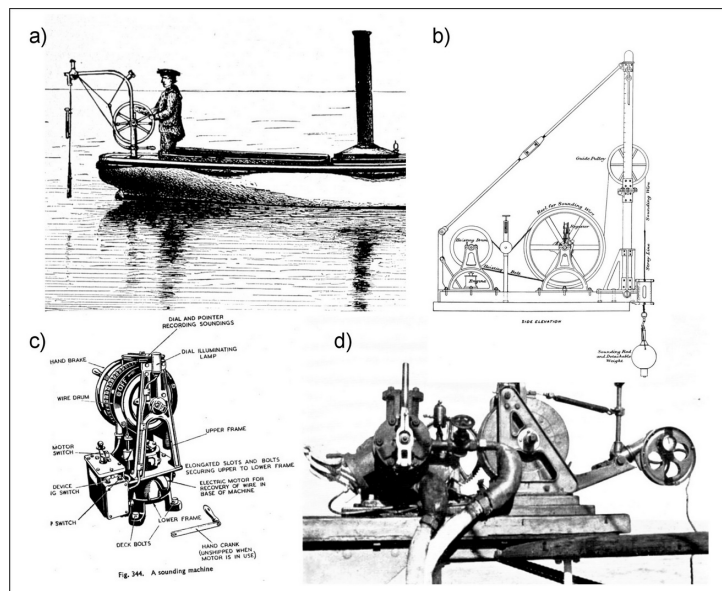
Dążenie człowieka do odkrycia i zbadania dna oceanu dało początek nowej nauce zwanej Hydrografią, która zrodziła ponad 3700 lat temu. Metody i technika pomiarów batymetrycznych rozwijały się na przestrzeni wieków od bardzo prostych i prymitywnych do skomplikowanych i w pełni zautomatyzowanych. Pierwsze ślady świadczące o mierzeniu głębokości odnalezione zostały na malowidłach egipskich grobowców. Egipcjanie do pomiaru niewielkich głębokości (do 20 metrów) używali tyczek, drzewców i lin. Pomiaru te wykonywano głównie by zapewnić bezpieczną żeglugę w niewielkiej odległości od wybrzeża.

Początkowo żeglarze mogli mierzyć głębokości tylko w akwenach płytkich, ich zainteresowanie skupiało się na lokalizowaniu niebezpieczeństw nawigacyjnych. Do tego celu wykorzystywali sondę ręczną (sondolinę) opuszczaną z burty statku. Pomiar głębokości polegał na zmierzeniu długości liny w momencie uderzenia ciężarka o dno. Ruch statku i prądy powierzchniowe powodowały niepionowe układanie się liny w toni wodnej co wpływało na dokładność pomiaru [1].

Przez następne kilkanaście wieków niewiele się zmieniło. W XII wieku naszej ery wprowadzono kompas magnetyczny i unowocześniono przyrządy nawigacyjne. W wieku XV po odkryciu Ameryki i opłynięciu Afryki sonda ręczna wciąż pozostawała podstawowym urządzeniem pomiarowym. W 1490 roku Leonardo da Vinci stwierdził, że dźwięk rozchodzi się nie tylko w powietrzu ale również pod wodą [2]. Opisał on również, w jaki sposób za pomocą tuby można słuchać szumów pochodzących od odległych statków. Przez kolejne 200 lat technika wykonywania pomiarów batymetrycznych nie uległa radykalnym zmianom.

W 1773 roku kapitan Constantine John Phipps opuścił na Morzu Norweskim z pokładu H.M.S *Racehorse* linę z obciążeniem 68 kg. Zmierzył on głębokość morza równą 1249 metrów [3]. W 1840 roku Sir James Clark Ross wykonał pierwszy głębokowodny pomiar na południowym Atlantyku rejestrując głębokość 4434 metrów. Około 1850 roku oficer amerykańskiej marynarki wojennej kapitan Matthew Fontaine Maury stworzył pierwszy planszet batymetryczny północnego basenu Oceanu Atlantyckiego. Niestety planszet ten zawierał liczne błędy i nie odzwierciedlał rzeczywistej rzeźby dna.

Od końca XIX wieku do początków XX wieku swoją świetność przeżywały sondy mechaniczne [4]. W 1872 roku Sir William Thomson (później Lord Kelvin) skonstruował prymitywną sondę mechaniczną zbudowaną z liny stalowej nawiniętej na bęben. Pierwsze próby wykonał on na prywatnym jachcie „Lalla Rookh”. Sondy mechaniczne rozwijały się od stosunkowo prostych do skomplikowanych, obsługiwanych przez kilku operatorów. Wśród tych najbardziej znanych wymieniana są sondy Lucasa, Sigsbee, Lietza, Tannera czy Kelvina (rys. 1).



Rys. 1 Sondy mechaniczne Tannera (a), Sigsbee (b), Kelvina (c) i Lucasa (d) [5,6,7,8].

POCZĄTKI ECHOSONDOWANIA

Prawdopodobnie pierwszy pomiar pod powierzchnią wody z wykorzystaniem fal akustycznych przeprowadzono w 1826 roku. Szwedzki fizyk Daniel Colladon i francuski matematyk Charles Strum zmierzili z zaskakująco wysoką dokładnością prędkość dźwięku w Jeziorze Genewa. Uzyskali oni wartość równą 1435 m/s. Po wybuchu I wojny światowej zwiększyło się tempo pracy nad budową systemów sonarowych.

Pierwsze pomysły i patenty na sonar aktywny pojawiły się w 1912 roku po tragedii Titanica. W tym roku angielski meteorolog Lewis Richardson [9] opatentował pomysł na urządzenie sonarowe. Podobny patent uzyskał rok później niemiecki fizyk Alexander Behm [2]. Pierwszy eksperymentalny system powstał w 1912 roku. Zbudował go kanadyjski fizyk Reginald Fessenden pracujący dla amerykańskiej firmy Submarine Signal Company [10]. W 1914 roku wykonano próby morskie z pokładu kutra *Miami* należącego do straży przybrzeżnej Stanów Zjednoczonych. Oscylator Fessendena został użyty do komunikacji z zanurzonym okrętem podwodnym, określenia głębokości morza i wykrycia góry lodowej.

W czasie I wojny światowej systemy sonarowe znalazły liczne zastosowania w działaniach wojennych. Już w 1915 roku rosyjski inżynier Constantin Chilowsky i francuski fizyk Paul Langevin zaprojektowali urządzenie nadawczo-odbiorcze wykorzystujące zjawisko piezoelektryczności kryształów kwarcu. Rok później uzyskali oni echo z głębokości 200 metrów.

W 1917 roku Langevin zbudował kwarcowy, piezoelektryczny sonar pracujący na częstotliwości 150 kHz. Konstrukcja sonaru okazała się niepraktyczna ze względu na rozmiary kwarcu i zbyt wysokie napięcie pracy. Ostatecznie Langevin zaprojektował sonar działający na częstotliwości 40 kHz a testy przeprowadzone w lutym 1918 roku potwierdziły skuteczność w wykrywaniu okrętów podwodnych [9].

W tym czasie również Brytyjcy naukowcy pracowali nad tajnym eksperymentem dotyczącym poszukiwania i wykrywania okrętów podwodnych. Angielskie badania z sonarem pod kierownictwem Roberta Boyle'a rozpoczęto w 1916 roku. Prowadzony przez niego zespół naukowców bazując częściowo na wcześniejszych francuskich eksperymentach zbudował pierwszy praktyczny sonar już w połowie 1917 roku.

Wszystkie prace zespołu Boyle'a otoczone były najwyższą klauzulą tajności. W 1919 r. Francuzi wykonali pomiary batymetryczne metodą akustyczną na głębokości 60 metrów z prędkością 10 węzłów. W 1922 r. zbadali oni miejsce położenia kabla podwodnego z Marsylii do Philippeville w Algierii. Pomiary te niektórzy uważają za pierwszy praktyczny sondaż hydroakustyczny. W latach 1925 i 1927 na pokładzie statku RV *Meteor* niemiecka ekspedycja przeprowadziła pierwsze, wielkoskalowe pomiary batymetryczne z użyciem echosondy jednowiązkowej.

Pod koniec lat trzydziestych ubiegłego stulecia pojawiła się pierwsza generacja echosond z przetwornikami magnetostrykcyjnymi. Echosondy pionowe należały do urządzeń obowiązkowego wyposażenia okrętów wojennych w II wojnie światowej. W okresie tym rozwijała się błyskawicznie technologia pomiarów sonarowych a postęp możliwy był dzięki rosnącej mocy obliczeniowej komputerów oraz wykorzystaniu metod cyfrowego przetwarzania sygnału [11].

Do okresu II wojny światowej zdecydowana większość pomiarów głębokości wykonywana była przy użyciu sondy ręcznej (tzw. ołowianki). Rozwój technik pomiarowych spowodował, że coraz bardziej dostępne stały się klasyczne echosondy hydrograficzne, co pozytywnie wpływało na ilość danych hydrograficznych, dokładność map morskich oraz bezpieczeństwo żeglugi [12]. W latach pięćdziesiątych udoskonalono technologię produkcji przetworników oraz zwiększono dokładność pomiaru czasu przebiegu sygnału akustycznego. Pojawiły się precyzyjne sondy i rejestratory głębokości PDR (ang. *precision depth sounders and recorder*) z wiązkami o szerokości 30°-60° [13].

Urządzenia PDR umożliwiały wykrycie jedynie wielkoskalowej rzeźby dna. W celu uzyskania wyższej rozdzielczości podjęto próby zmniejszenia szerokości wiązki nadawczej, co dało początek echosondom z wąską wiązką 2°-5° i mechaniczną stabilizacją przechyłów bocznych. Systemy te stały się w pełni operacyjne wraz z wynalezieniem i wprowadzeniem w latach sześćdziesiątych techniki elektronicznej stabilizacji wiązek.

WYNALEZIENIE SONDY WIELOWIĄZKO-WEJ

Pierwsze modele echosond wielowiązkowych, jako tajny projekt marynarki wojennej pojawiły się już w latach sześćdziesiątych XX wieku [14]. Przedsiębiorstwo General Instruments Corporation opatentowało technikę pomiaru głębokości za pomocą nie jednej lecz kilku wąskich wiązek akustycznych. Tak powstał system o nazwie Sonar Array Sounding System (ang. SASS) [2]. Na rynku komercyjnym echosonda ta dostępna była dopiero pod koniec lat siedemdziesiątych [15].

Pierwsze informacje i dane o echosondzie wielowiązkowej oceanograf Morris Glenn zaprezentował w [16]. Glenn scharakteryzował system wielowiązkowy o nazwie Multi-Beam Array Sonar Survey System. System ten był eksploatowany wówczas przez Biuro Oceanograficzne Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych (US Naval Oceanographic Office) i na ówczesne czasy stanowił rewolucyjne rozwiązanie. Echosonda dysponowała 16 wiązkami akustycznymi formowanymi w sektorze kątowym 90° z możliwością pomiaru 60 wartości głębokości w jednym impulsie. System SASS pierwotnie został zainstalowany na australijskim statku badawczym *Cook*.

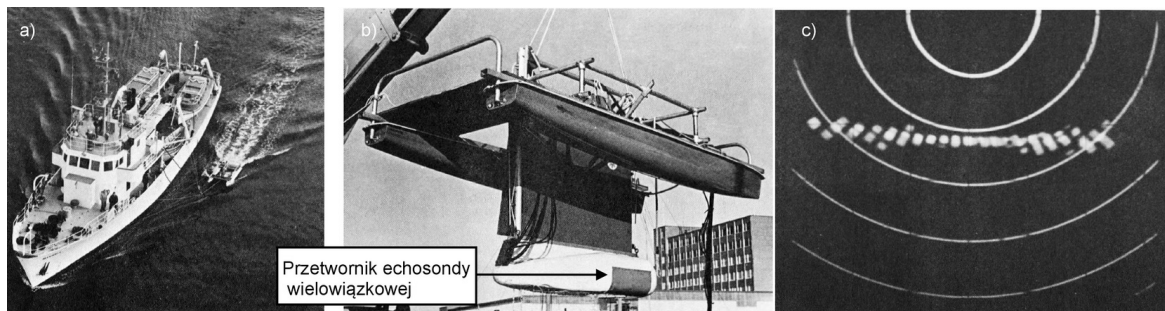
Potrzeba pełnego pokrycia pomiarami akwenu zmuszała badaczy do stosowania nowych technik pomiarowych. Naukowcy byli zainteresowani nie tylko głębokościami pod kadłubem statku ale także w pewnej odległości bocznej od niego. Stąd opracowano koncepcję wykonywania pomiarów na równoległych liniach profilowych a pojedyncze przetworniki echosond jednowiązkowych zamontowano na długim wysięgniku [17].

Sposób ten używany był głównie w badaniach dna jezior a na otwartym morzu, przy niewielkim falowaniu był całkowicie niepraktyczny. Podobny sposób pomiaru głębokości z wykorzystaniem pływaków holowanych został opisany w [18]. Bardziej zaawansowana metoda równoległego sondowania została przedstawiona w [19].

W latach sześćdziesiątych Szwedzki Departament Hydrograficzny opracował nową metodę pomiarów hydrograficznych. Zamiast jednego statku sformowano szereg kilku jednostek nawigujących i mierzących głębokości wzdłuż równoległych linii pomiarowych. Szereg składał się z jednostki-matki, której pozycja określana była przez stacje brzegowe oraz łodzi towarzyszących pozycjonowanych ze statku-matki.

Pierwsza echosonda wielowiązkowa przeznaczona do pomiarów na akwenach płytkowodnych została scharakteryzowana w [20].

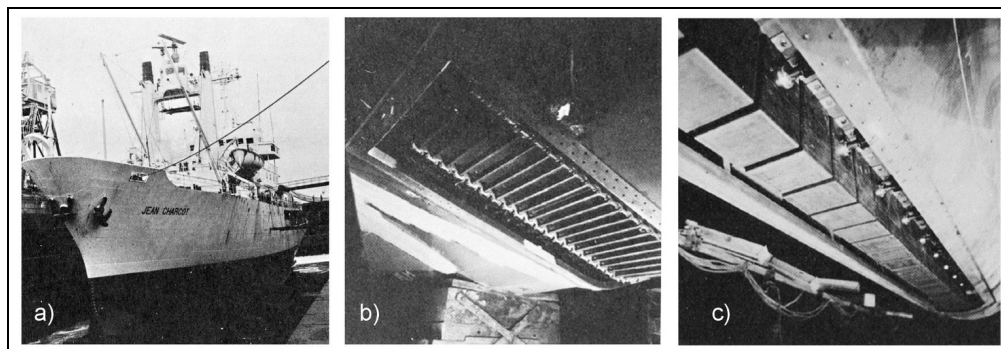
System o nazwie *Bo'sun* Multi-Beam Sonar System i powstał w odpowiedzi na zwiększoną liczbę supertankowców podróżujących przez płytkie kanały, cieśniny i akweny portowe. System pomiarowy tworzyły przetwornik, katamaran, konsola, rejestrator danych, kompas cyfrowy, taśma magnetyczna, czujniki przechyłów wzdłużnych i poprzecznych. Echosonda formowała 21 wiązek akustycznych w sektorze kątowym 105° co zapewniało pokrycie pomiarami w pasie o szerokości równej 2.6 raza średnia głębokość. Częstotliwość operacyjna sygnału akustycznego wynosiła 36 kHz a maksymalna głębokość jaką można było zmierzyć sięgała 800 m. Czujniki przechyłów poprzecznych i wzdłużnych oraz przetwornik zainstalowano na katamaranie, w celu uniknięcia konieczności instalacji na stałe w kadłubie statku (rys. 2). Jedną z niedoskonałości echosondy był brak wystarczającej mocy obliczeniowej. Dane pomiarowe były rejestrowane na taśmach magnetycznych w formacie kompatybilnym ze stacjami komputerowymi. Doświadczenia zebrane podczas pierwszych testów morskich z użyciem echosondy *Bo'sun* przedstawił McCaffrey w [21].



Rys. 2 Pomiar systemem wielowiązkowym *Bo'sun* z użyciem katamaranu (a), (b). Zobrazowanie wiązek na video-wyświetlaczu (c) [20].

Na początku lat siedemdziesiątych w sektorze publicznym pojawiły się echosondy wielowiązkowe przeznaczone do pomiarów głębokowodnych. Pierwszym takim systemem skonstruowanym przez General Instrument Corporation (ang. GIC) była echosonda *Sea Beam*, którą testowano w 1977 roku na pokładzie statku *Jean Charcot* (rys. 3). Opis techniczny echosondy przedstawiono w [22]. Echosonda formowała 16 wiązek tworzących wachlarz o szerokości kątowej około 90° [8]. Częstotliwość sygnału akustycznego wynosiła 12 kHz.

W tym czasie intensywnie pracowano nad techniką elektronicznego sterowania wiązkami, algorytmami detekcji dna, trajektorią przebiegu sygnału akustycznego. Sporym osiągnięciem technologicznym było wprowadzenie systemu GPS (ang. Global Positioning System), który zapewniał określanie pozycji z dokładnością kilku metrów.



Rys. 3 Statek *Jean Charcot* w suchym doku w Breście (1977 r.) podczas montażu przetworników odbiorczych *Sea Beam* (b) i nadawczych (c) [22].

W 1981 roku pierwszy statek niemiecki badawczy *Sonne* został wyposażony w system *Sea Beam*. Rok później zbudowano nową niemiecką jednostkę badawczą *Polarstern* przeznaczoną do wykonywania badania w nieznanymi regionach polarnych świata. W tym celu *Polarstern* został wyposażony w echosondę *Sea Beam* zdolną do pomiaru głębokości 12 000 metrów.

W latach 1984-1986 przedsiębiorstwo Krupp Atlas Elektronik w Bremen stworzyło nowy batymetryczny system pomiarowy *Hydrosweep* wykorzystywany na akwenach głębokowodnych. Echosonda wielowiązkowa *Hydrosweep* zainstalowana została początkowo na nowym niemieckim statku badawczym *Meteor*. *Hydrosweep* wykorzystywała 59 wiązek akustycznych pracujących w sektorze 90° mierzących głębokości w pasie dna o szerokości odpowiadającej dwóm średnim głębokościom. W 1989 roku na pokładzie statku badawczego *Polarstern* zainstalowano nowy system *Hydrosweep* posiadający zabezpieczenia przeciwlodowe, ochraniające aktywne elementy głowic pomiarowych. W 1993 i 1994 roku system zmodernizowano uzyskując wachlarz wiązek, z regulowanym sektorem roboczym $90^\circ/120^\circ$ uzależnionym od głębokości akwenu.

Dzisiejsze systemy zdecydowanie różnią się od tych prototypowych systemów *SASS* i *Sea Beam*. Od lat dziewięćdziesiątych obserwujemy wzrost liczby sprzedanych systemów wielowiązkowych, szczególnie tych dedykowanych na akweny płytkowodne. Technologia echosondy wielowiązkowej jest systematycznie udoskonalana.

Prace rozwojowe obejmują między innymi czujniki przechyłów statku, zwiększenie mocy obliczeniowej komputerów oraz doskonalenie metod wizualizacji danych batymetrycznych. Pojawiają się echosondy pracujące z wyższą

częstotliwością sygnału, cechujące się bardzo wąskimi wiązkami np. 0,4° x 0,7° (Kongsberg EM 2040) czy 0,5° x 1° (Teledyne RESON SeaBat 7125).

Od 1990 lat echosondy wielowiązkowe były powszechnie wykorzystywane w badaniach geologicznych i oceanograficznych, w przemyśle wydobywczym oraz operacjach układania kabli i rurociągów podwodnych. Wraz ze spadkiem cen jednostkowych komponentów echosondy wielowiązkowe znacząco wzrosła liczba sprzedanych modeli.

Współczesne systemy wielowiązkowe dostępne są w wersji mobilnej, co pozwala na montaż na małych kutrach i motorówkach portowych oraz autonomicznych pojazdach podwodnych. Systemy te pracują z modulacją częstotliwości, mogą wykorzystywać opcję *dual swath* zapewniającą większą gęstość danych w kierunku ruchu przy większej prędkości sondażowej, mają pełną stabilizację przechyłów wzdłużnych, bocznych i zmian kierunku. Technologia *chirp* umożliwiła zwiększenie zasięgu działania echosondy i rozdzielczości pomiaru, a długości impulsu uległy skróceniu do 25 mikrosekund.

PODSUMOWANIE

Echosondy wielowiązkowe od ponad czterdziestu lat wykorzystywane są w badaniach dna na potrzeby kartografii morskiej, bezpieczeństwa żeglugi, wsparcia działań marynarki wojennej czy rozwoju nauki. Wraz z poprawą rozdzielczości i zdolności pomiarowych tych systemów pojawiły się nowe obszary, w których urządzenia MBES stanowią nieocenioną pomoc.

Wśród nich wymienić należy poszukiwanie i wydobywanie naturalnych złóż, rybołówstwo, inżynieria morska czy archeologia podwodna. Dziś w zależności od przeznaczenia produkowane są echosondy wielowiązkowe niskiej częstotliwości (12 kHz – 50 kHz), średniej częstotliwości (70 kHz-150 kHz) oraz wysokiej częstotliwości (powyżej 200 kHz). Największe głębie naszej planety (>11000 m) badane są za pomocą echosond z przetwornikami o długości 8 metrów i częstotliwości 12 kHz. Są to ciężkie przetworniki instalowane zasadniczo na dużych, oceanicznych statkach badawczych.

W granicach szelfu kontynentalnego, do głębokości 200 metrów największe zastosowanie znalazły echosondy wielowiązkowe pracujące w paśmie 70 kHz- 200 kHz. Na akwenach płytkowodnych i wodach bardzo płytkich (do kilku metrów głębokości) najskuteczniejsze są systemy wykorzystujące sygnały o częstotliwościach 300 kHz-400 kHz. Echosondy te dzięki niewielkim gabarytom mogą być instalowane na pojazdach podwodnych ROV i AUV.

Obecnie rynek komercyjny oferuje sondy MBES wieloczęstotliwościowe (ang. *multi-frequency*) zdolne do pracy na różnych zasięgach [23]. W systemach tych najczęściej stosowane są nominalne częstotliwości sygnałów akustycznych 200 kHz, 300 kHz, 400 kHz (450 kHz). Spotkać również można modele sond wielowiązkowych operujące z częstotliwościami 700 kHz.

BIBLIOGRAFIA

1. Vilming S., The Development of the Multibeam Echosounder: A Historical Account, The Journal of the Acoustical Society of America 103(5), January 1998 s. 1637;
2. M. Jacops, Analyses of high resolution bathymetric data in the Eltanin impact area, Master thesis, Bremerhaven, January 2002, s. 17, [on-line] <http://epic.awi.de/22883/1/Jac2002j.pdf> (dostęp 25.10.2015);
3. Grządziel A., Pomiar batymetryczny – dawniej i dziś, Przegląd Morski nr 4, Gdynia 2004;
4. Grządziel A., Echosonda jednowiązkowa w pomiarach hydrograficznych, Przegląd Morski nr 4, DMW Gdynia, 2006.
5. NOAA's Historic Coast & Geodetic Survey (C&GS) Collection, NOAA Central Library, [on-line], <http://www.photolib.noaa.gov/htmls/theb0914.htm>, (dostęp 15.05.2017);
6. Littlehales G.W., How the Sea is Sounded, Popular Science Monthly, Vol. 44, January 1894, [on-line];
7. https://en.wikisource.org/wiki/Popular_Science_Monthly/Volume_44/January_1894/How_the_Sea_Is_Sounded, (dostęp 15.11.2017);
8. www.submerged.co.uk/kelvins-machine.php [on-line, dostęp 19.09.2016];
9. Cpt. Field A. M., Report on the Suitability and Capabilities of Palmyra and Fanning Islands as Submarine Cable Stations, Hydrographic Department, London: December 1897, [on-line], <http://atlantic-cable.com/Cables/1902PacificGB/>, (dostęp 14.12.2016);
10. Hartcup G., The war of invention: scientific developments, 1914-18. London: Brassey's Defence Publishers, 1988;
11. Swerpel S., Mowa Oceanu, „Wiedza i Życie” 8 (968), sierpień 2015, s. 34-37;
12. Ranade G., Impact of bathymetric system advances on hydrography, National Institute of Oceanography, Impact of Technology in the Field of Hydrography and Maximising Returns for Maritime Safety and Nation Building, National Seminar 21-22 June 2007, Goa, 88-96p, [on-line] http://drs.nio.org/drs/bitstream/handle/2264/696/Impact_Technol_Proc_21-22_Jun_2007_Goa.pdf?sequence=2&isAllowed=y (dostęp: 27.10.2015);
13. Mayer L.A., Paton M., Gee L., Gardner S.V., Ware C., Interactive 3-D visualization: a tool for seafloor navigation, exploration and engineering, in OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition, vol.2, 2000, pp.913-9192;
14. Moustier Ch.d., State of the art in swath bathymetry survey systems, International Hydrographic Review, Monaco, LXV(2), July 1988, pp. 25-54;
15. IMCA, Guidelines for the Multibeam Echosounders for Offshore Surveys, S 003 Rev. 2, July 2015;
16. Nair R.R., Chakraborty B., Study of multibeam techniques for bathymetry and seabottom backscatter applications, Journal of Marine and Atmospheric Research, Vol.1, 1997, pp. 17-24;
17. Morris G.F., Introducing an Operational Multi-Beam Array Sonar, International Hydrographic Review 47 (1), Vol. XLVII, No. 1, Monaco, 1970, pp. 35-39;
18. Fahrentholz S., Systeme D'echographes Pour Leves De Chenaux, International Hydrographic Review, Vol. XL, No. 1, Monaco, 1963, pp. 28-27;
19. Engelmann I., Towed Echosounders for Parallel Sounding, International Hydrographic Review 44(2), Vol. XLIV, No. 2, Monaco, 1967, pp. 7-10;
20. Stenborg E., The Swedish Parallel Sounding Method State of the Art, International Hydrographic Review 64 (1), Vol. LXIV, No. 1, Monaco, 1987, pp. 7-14;
21. Burke R., Robson J., An Evaluation of the BO'SUN Multi-Beam Sonar System, International Hydrographic Review 52 (2), Vol. LII, No. 2, Monaco, 1975, pp.53-69;
22. McCaffrey E.K., A Review of the Bathymetric Swath Survey System, International Hydrographic Review 58 (1), Vol. LVIII, No. 1, Monaco, 1981, pp. 19-27;
23. Renard V., Allenou J.P., Sea Beam Multi-Beam Echo-Sounding in "Jean Charcot" - Description, Evaluation and First Results, International Hydrographic Review 56 (1), Vol. LVI, No. 1, Monaco, 1979, pp. 35-67;
24. Lurton X., Modelling of the sound field radiated by multibeam echosounders for acoustical impact assessment, Applied Acoustics, Volume

mgr Artur Grządziel
Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego
81-127 Gdynia
ul. Śmidowicza 69
e-mail: a.grzadzziel@amw.gdynia.pl