

Artur GRZĄDZIEL, Mariusz WAŻ, Krzysztof NAUS, Andrzej FELSKI

NIEPEWNOŚĆ POMIARU GŁĘBOKOŚCI W PASIE POMIAROWYM SWATH ECHOSONDY WIELOWIĄZKOWEJ

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę niepewności pomiaru głębokości za pomocą echosondy wielowiązkowej. Scharakteryzowano znaczenie systemów „wielowiązkowych” w bezpieczeństwie żeglugi i transportu morskiego. Zaprezentowano również istotę pomiaru głębokości i źródła niepewności w echosondzie wielowiązkowej. Artykuł zawiera wyniki badania niepewności pomiaru głębokości dla echosondy wielowiązkowej EM 3002D, które przeprowadzono w styczniu 2015 z pokładu okrętu hydrograficznego ORP Arctowski na Zatoce Gdańskiej na głębokości 52m.

WSTĘP

Na początku swojej przygody z morzem, człowiek ze względów bezpieczeństwa wpływał tylko w dzień. Wraz z wynalezieniem kompasu marynarze nauczyli się korzystać z gwiazd, a żeby nie żeglować „po omacku” zaczęli tworzyć mapy. Bezpieczna żegluga po rzekach, w kanałach i basenach portowych, przesmykach czy cieśninach wymagała znajomości głębokości akwenu. Wymagania te były impulsem do powstania pierwszych biur hydrograficznych wykonujących prace pomiarowe, których wyniki stanowiły podstawę do kartograficznego opracowania morskich map nawigacyjnych. Mapy morskie prezentujące głębokości od początków żeglugi stanowiły najważniejsze źródło informacji, warunkujące bezpieczną nawigację po morzach i oceanach.

Niestety technika tamtych lat powodowała, że prace te były wykonywane prymitywnymi na dzisiejsze czasy metodami. Pierwszymi sondami były liny konopne z ołowianymi ciężarkami w kształcie stożka, wyskalowane za pomocą kolorowych kawałków skóry [3]. Można sobie wyobrazić, że była to żmudna i mało dokładna praca. Krokiem milowym był okres międzywojenny oraz druga wojna światowa, w czasie których technika poszła „do przodu”. Powstały pierwsze urządzenia wykorzystujące propagację fal akustycznych. Proste sonary, echosondy i rejestratory głębokości wykorzystywano do wykrywania podwodnych gór lodowych, poszukiwania okrętów podwodnych i opracowywania map morskich.

Wraz z rozwojem różnych metod pomiaru głębokości mapy morskie zyskiwały na dokładności i kompletności. Ostatnie dziesięciolecie przyniosły ogromny postęp w rozwoju techniki sonarowej wykorzystywanej w pracach pomiarowych na morzu. Dziś pomiary hydrograficzne zostały zdominowane przez echosondę wielowiązkową MBES (ang. *Multibeam Echosounder*), która pojawiła się w latach 1970-tych. Od tego czasu technologia ta przeszła ogromne zmiany i udoskonalenia w zakresie wydajności, rozdzielczości oraz dokładności pomiaru.

1. ECHOSONDA WIELOWIĄZKOWA I JEJ WPŁYW NA TRANSPORT MORSKI

Ponad 80% międzynarodowej wymiany handlowej odbywa się za pośrednictwem transportu morskiego [11]. Oszczędności wynikające z wykorzystania krótszych tras głębokowodnych a także możliwość użycia większych statków i większej ilości załadunku pozytywnie wpływają na ekonomię państwa, krajowy przemysł i wymianę handlową. Pomimo tego wiele akwenów morskich i portowych na świecie nie posiada wciąż dokładnych map z odpowiednim pokryciem pomiarami. Brak należytego pokrycia danymi hydrograficznymi

powoduje, że podróże morskie wydłużają się, statki nie przewożą dopuszczalnych ilości ładunku co zwiększa całkowite koszty armatora. Dlatego brak dokładnych map morskich może ograniczać lub uniemożliwiać rozwój handlu morskiego.

Od zakończenia II wojny światowej wzrosła potrzeba uaktualniania morskich map nawigacyjnych. Podyktowane to było między innymi zwiększeniem natężenia ruchu w strefie przybrzeżnej, wzrostem popularności tzw. żeglugi rekreacyjnej oraz stale rozwijającym się handlem morskim. Konieczność aktualizacji map zmuszała państwowe służby hydrograficzne do prowadzenia systematycznych sondaży morskich w granicach narodowych wód terytorialnych. W tym celu wykorzystywano jedynie echosondy jednowiązkowe SBES (ang. *Single-beam echosounder*). Akceptowano fakt niepełnego pokrycia dna wiązkami akustycznymi. Echosonda pionowa rejestrowała jedynie najmniejszą głębokość w obrębie „śladu akustycznego” pojedynczej wiązki. Obiekty leżące poza obszarem insonifikacji pozostawały niewykryte.

Dziś sonda jednowiązkowa SBES nie zaspokaja potrzeb wszystkich użytkowników. Co więcej, nie spełnia również obowiązujących standardów pomiarów hydrograficznych, nie zapewnia pełnego pokrycia a sesje pomiarowe są czasochłonne [13]. Ostatnie trzy dekady to dynamiczny rozwój technologii pomiarów morskich. Tradycyjne techniki sondaży morskich zostały uzupełnione o wyrafinowane urządzenia i systemy elektroniczne, które rozwinęły się w odpowiedzi na wyzwania i potrzeby współczesnego świata. Dużą popularność zyskują echosondy wielowiązkowe zapewniające 100% pokrycie akwenu sondażowego pomiarami batymetrycznymi o stosunkowo dużej rozdzielczości w porównaniu z echosondą pionową.

Mapy morskie stanowią zbiór informacji niezbędnych nawigatorowi do prowadzenia nawigacji i zapewniania bezpiecznej żeglugi. Źródłem informacji hydrograficznej na mapie morskiej są w przeważającej mierze pomiary realizowane przez małe i duże jednostki hydrograficzne. Dane batymetryczne mogą pochodzić z różnych okresów dlatego ich dokładność jest zróżnicowana, bowiem technika pomiaru głębokości zmieniała się na przestrzeni lat.

Podstawowym źródłem informacji batymetrycznej do opracowania kartograficznego mapy morskiej są dane pochodzące z echosondy wielowiązkowej. Mają one istotny wpływ na ich jakość i wiarygodność dając coraz większe poczucie bezpieczeństwa nawigacyjnego wszystkim użytkownikom mórz i oceanów. Nawigatorzy muszą ufać mapom morskim, gdyż nie mają możliwości weryfikacji wkartowanych wartości głębokości. Dlatego mapa musi być dokładna i aktualna. Zgodnie z Rozdziałem V Konwencji SOLAS statek, który nie posiada aktualnych map obejmujących akweny planowanej trasy uznaje się za statek niezdolny do żeglugi [10]. Dokładność

mapy związana jest z częstością pozyskiwania danych i ich dokładnością. Pomiar hydrograficzny wykonywane zgodnie z aktualnymi standardami IHO (SP 44) powinny cechować się najwyższą dokładnością [12]. Dlatego tak istotne jest utrzymywanie narodowego serwisu hydrograficznego i kartograficznego.

Wiarygodne mapy, których podstawą były pomiary technologią wielowiązkową wpływają na wzrost bezpieczeństwa nawigacyjnego na morzu, lepszą ochronę środowiska morskiego i wzrost korzyści ekonomicznych i infrastruktury krajowej. Echosondy wielowiązkowe oprócz klasycznych pomiarów dla potrzeb kartografii morskiej są szeroko stosowane w operacjach układania transoceanicznych kabli telefonicznych, eksploracji i wierceń na potrzeby przemysłu wydobywczego ropy naftowej, lokalizowaniu ważnych podwodnych złóż kopalin oraz poznawaniu procesów geologicznych na Ziemi [1].

2. POMIAR GŁĘBOKOŚCI W SYSTEMIE MBES

Pomiar batymetryczny echosondą wielowiązkową polega w istocie na szacowaniu dwóch wielkości: czasu przebiegu impulsu sondującego od przetwornika do dna i z powrotem T oraz kąta odchylenia wiązki odbiorczej od linii pionu θ , zwanego kątem kierunkowym lub sterującym wiązki. Każda para (T, θ) umożliwia określenie położenia jednego punktu pomiaru głębokości. Jeśli rozkład prędkości dźwięku w kolumnie wody jest względnie stały, droga przebiegu sygnału akustycznego dla każdej wiązki jest linią prostą. Przy założeniu, że początek układu znajduje się w pozycji przetwornika, współrzędne punktu pomiarowego (y, z) wyznaczamy na podstawie prostych zależności geometrycznych [15], [8]:

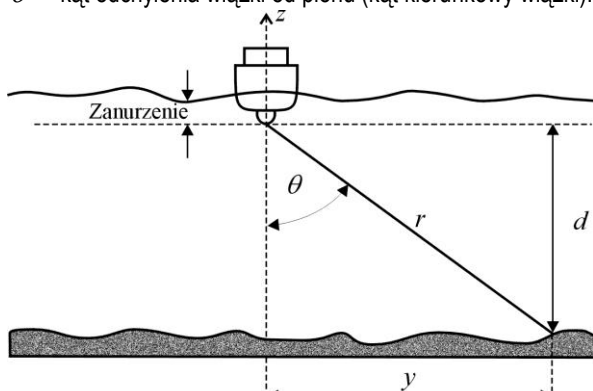
gdzie:

$$r = \frac{cT}{2} \quad (1)$$

$$y = r \sin \theta = \frac{cT}{2} \sin \theta \quad (2)$$

$$d = r \cos \theta = \frac{cT}{2} \cos \theta = -z \quad (3)$$

- y – współrzędna poprzeczna punktu pomiaru głębokości;
- z – współrzędna pionowa punktu pomiaru głębokości;
- r – odległość pomiędzy przetwornikiem a punktem padania wiązki akustycznej na dno;
- c – prędkość propagacji fali akustycznej w wodzie;
- T – podwójny czas przebiegu impulsu sondującego od przetwornika do dna;
- θ – kąt odchylenia wiązki od pionu (kąt kierunkowy wiązki).



Rys. 1. Wyznaczanie głębokości i odległości poprzecznej punktu pomiarowego w echosondzie wielowiązkowej

Jeśli jednostka pływająca (przetwornik) nie posiada przechyłu wzdłużnego *pitch* to współrzędna wzdłużna x (w kierunku ruchu) wynosi 0. W warunkach rzeczywistych, problem wyznaczenia współrzędnych punktu pomiarowego i głębokości jest nieco bardziej złożony. Droga przebiegu promienia akustycznego (trajektoria) wyznaczana jest programowo na podstawie informacji o prędkości propagacji dźwięku na głębokości zanurzenia przetwornika (prędkości powierzchniowej *SSS*, *surface sound speed*) oraz rozkładu prędkości dźwięku w kolumnie wody. W procesie wyznaczania głębokości wszystkie pomiary odwołują się do przetwornika. Dlatego niezwykle ważne jest aby w momencie pomiaru znana była pozycja i położenie jednostki pływającej. Współrzędne geograficzne oraz wartości przechyłów kątowych jednostki (zwłaszcza przechyłu poprzecznego *roll*) pozwalają na wprowadzenie poprawek i powiązanie pozycji z pomiarem głębokości.

Istnieje kilka technik, które wykorzystuje się do pomiaru pary danych (t, θ) . Dla potrzeb artykułu założono, że pary te są wyznaczane dokładnie przez system echosondy i że są one dostępne w dalszym etapie przetwarzania włączając poprawki na położenie jednostki pływającej i profil prędkości dźwięku.

3. ŹRÓDŁA NIEPEWNOŚCI POMIARU GŁĘBOKOŚCI

Niepewność wyniku pomiaru odzwierciedla brak dokładnej znajomości wartości wielkości mierzonej. Dokładna znajomość wartości wielkości mierzonej wymaga nieskończonej ilości informacji. Zjawiska wpływające na niepewność, a tym samym na fakt, że wyniku pomiaru nie można wyrazić za pomocą jedynej wartości, są nazywane źródłami niepewności.

Podstawowym źródłem niepewności pomiaru głębokości w płaszczyźnie wertykalnej są pływy, zanurzenie jednostki i ruch pionowy jednostki. Wśród źródeł niepewności pomiaru głębokości w płaszczyźnie horyzontalnej wymienić można system określania pozycji czy czujnik kierunku. Istnieją również takie źródła niepewności, które wpływają pośrednio na pionową i poziomą niepewność pomiaru głębokości. Do nich zaliczyć można niepewność wyznaczania odległości ukośnej (ang. *range*) oraz niepewność określania kąta kierunkowego pojedynczej wiązki [9].

Wyróżniamy cztery podstawowe źródła niepewności pomiaru głębokości:

1. Jednostka pływająca
2. Zjawisko pomiaru
3. Środowisko pracy echosondy
4. Kalibracja echosondy

Jednostka pływająca pełni rolę nosiciela systemu pomiarowego. Niepewności jakie może wnosić jednostka związane są z zanurzeniem jednostki i jej zmianami, prędkością, rozmieszczeniem sensorów oraz przechyłami kątowymi (ang. *roll*, *pitch*, *yaw*, *heave*). Osobną grupą niepewności pomiaru są pomiary realizowane przez echosondę wielowiązkową, miernik prędkości dźwięku czy czujnik przechyłów kątowych. Niepewności pomiaru wynikające ze środowiska pracy (woda) dotyczą pływów, rozkładu pionowego prędkości dźwięku w kolumnie wody oraz stanu morza. Ważną grupą niepewności są te związane z procesem kalibracji. Do nich zaliczamy m.in. niepewności pomiarów kątowych i odległościowych wykonanych w momencie instalacji czujników systemu hydrograficznego. Zalecaną metodą określania poprawek kątowych jest metoda „*patch testu*”.

Niepewności związane z wyznaczaniem pozycji dla poszczególnych wiązek echosondy wielowiązkowej muszą uwzględniać błędy systemu pozycjonowania, błąd określania odległości ukośnych oraz błąd modelowania trajektorii promienia akustycznego (w tym m.in. błąd prędkości dźwięku, błąd wyznaczenia kąta kierunkowego wiązki, błąd określenia kursu jednostki, błędy pomiaru odle-

głości i kątów montażowych przetwornika, błędy przechyłów jednostki i inne [S-44]). Wśród czynników wpływających na niepewność pomiaru głębokości (*vertical uncertainty*) wyróżnić należy błąd pomiaru wysokości pływów, błędy instrumentalne, błąd wyznaczenia prędkości dźwięku, błędy pomiarów przechyłów katowych jednostki, zanurzenie, nachylenie dna czy błąd synchronizacji czasowej pomiarów.

Krajowe Biura Hydrograficzne odpowiedzialne za jakość pomiarów sondażowych powinny przygotować i opracować budżety niepewności pomiaru głębokości dla użytkowanych przez nich systemów wielowiązkowych.

4. NIEPEWNOŚĆ POMIARU GŁĘBOKOŚCI ECHOSONDĄ WIELOWIĄZKOWĄ

Do niedawna słowa „błąd” i „niepewność” były używane wymiennie. Słowo „błąd” posiada znaczenie jakościowe dla wyrażenia faktu, że wynik pomiaru różni się od wartości rzeczywistej. Dodatkowo termin „błąd” wykorzystywany jest w nazewnictwie rodzajów błędów pomiaru. W znaczeniu ilościowym przez błąd pomiaru e_i rozumie się różnicę między wartością zmierzoną x_i i wartością rzeczywistą x_0 [17]:

$$e_i = x_i - x_0 \quad (4)$$

Niepewność pomiaru jest natomiast parametrem związanym z wynikiem pomiaru, charakteryzującym rozrzut wyników, który można w uzasadniony sposób przypisać wartości mierzonej. Określeniem jakościowym, związanym z pojęciem niepewności, jest dokładność pomiaru. Pomiar dokładniejszy charakteryzuje się mniejszą niepewnością.

Podstawową miarą dokładności pomiaru jest niepewność standardowa. Niepewność ta definiowana jest jako niepewność wyniku pomiaru wyrażona w formie odchylenia standardowego. Proces wykonywania pomiarów można porównać do pobierania n -elementowej próby losowej z nieskończonego zbioru wszystkich możliwych do wykonania pomiarów. Jeśli rozkład prawdopodobieństwa liczb x_i jest opisany w przybliżeniu krzywą Gaussa, optymalny sposób opracowania wyników jest następujący. Za wynik pomiaru przyjmuje się średnią arytmetyczną \bar{x} :

$$\bar{x} \equiv \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

gdzie:

x_i – kolejne wartości danej zmiennej losowej w próbie
 n – liczba elementów w próbie

Miarą rozrzutu wyników serii pomiarów głębokości jest wielkość zwana estymatorem odchylenia standardowego i oznaczana symbolem s . Wartość s obliczamy ze wzoru:

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

Teoria prawdopodobieństwa stanowi, że estymator odchylenia standardowego średniej $s(\bar{x})$ jest \sqrt{n} razy mniejszy od wartości s :

$$s(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Z połączenia wzorów (6) i (7) otrzymujemy estymator odchylenia standardowego średniej $s(\bar{x})$, który utożsamiamy z niepewnością $u(x)$ pomiaru powtarzanego:

$$u(x) \equiv s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

gdzie:

n – liczba elementów w próbie

x_i – kolejne wartości danej zmiennej losowej w próbie

\bar{x} – średnia arytmetyczna z próby

W ostatnich dekadach przeprowadzono szereg badań dotyczących zdolności pomiarowych systemów echosond wielowiązkowych dostępnych na rynku hydrograficznym. Wyniki i wnioski z tych badań można znaleźć w publikacjach [4], [5], [6], [7]. Teoretyczne możliwości pomiarowe tych systemów oparte są na modelach błędów pomiarowych. Modele te zawierają nie tylko błędy związane z procesem detekcji amplitudowej czy fazowej, ale również te związane z ruchem jednostki, jej kursem i pozycją a także prędkością propagacji fali dźwiękowej mierzoną na głębokości przetwornika i w całej kolumnie wody.

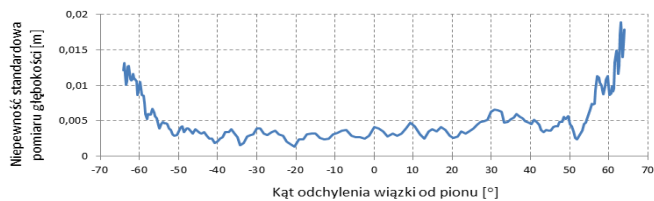
Echosonda wielowiązkowa narażona jest na oddziaływanie wielu czynników wpływających na jej niepewność pomiaru. Czynniki te związane z urządzeniami pomiarowymi oraz środowiskiem ich pracy powodują, że faktyczny sektor roboczy echosondy wielowiązkowej, w granicach którego system spełnia standardy hydrograficzne jest węższy od dopuszczalnego.

Chociaż system echosondy wielowiązkowej jest zdolny odbierać impulsy sondujące w szerokim sektorze roboczym to należy podkreślić, że jakość danych uzyskiwanych z całego pasa pomiarowego nie jest jednakowa. Impulsy sondujące odbierane przez wiązki skrajne pokonują znacznie dłuższą drogę w stosunku do tych odbieranych przez tzw. wiązki pionowe [14],[16]. Dlatego wiązki te charakteryzują się znacznie większymi niepewnościami pomiaru głębokości. Niepewności te wynikają przede wszystkim z zjawiska refrakcji, które powoduje zmianę kształtu pasa pomiarowego *swath* echosondy [2]. Zwiększona niepewność pomiaru głębokości w strefie wiązek skrajnych wymusza konieczność ograniczania sektora roboczego echosondy. Dlatego podczas etapu planowania prac pomiarowych użyteczny kąt pracy MBES jest zmniejszany.

Większość echosond wielowiązkowych z pojedynczą głowicą pomiarową są zdolne odbierać impulsy sondujące w szerokim sektorze roboczym około 130°. Dwugłowicowe systemy wielowiązkowe mogą pokryć powierzchnię dna pomiarami w kącie promieniowania echosondy równym 180°-210° [14]. W pomiarach ukierunkowanych na potrzeby kartografii morskiej i bezpieczeństwa nawigacyjnego użytkowy sektor katowy MBES jest ograniczany jest ze względu na zjawiska osłabienia, tłumienia i refrakcji fali akustycznej oraz dużego kąta padania wiązki na dno (*mały sygnał rozproszenia wstecznego*). W akwenach płytkowodnych (poniżej 40 metrów) echosonda wielowiązkowej jest zdolna uzyskać maksymalny kąt pracy do 160°-170°. Jednak możliwości detekcyjne echosondy jak i dokładność pomiarów dla wiązek ukośnych spoza sektora 120° gwałtownie obniżają się.

W styczniu 2015 r. przeprowadzono badania na morzu mające na celu ustalenie maksymalnych i użytecznych sektorów roboczych echosondy wielowiązkowej Kongsberg Maritime EM-3002D. Prace pomiarowe realizowano z pokładu okrętu hydrograficznego ORP *Arctowski*, 3 mile morskie na SW od Cypla Helskiego. Średnia głębokość akwenu wynosiła 52,5m dno w rejonie względnie płaskie z osadami gliny, błota i mułu. Okręt dwukrotnie wykonał pomiary z prędkością 5-6 węzłów. W pierwszym etapie sektor katowy echosondy został zredukowany do 40°. W drugim etapie użyto maksymalnego kąta pracy echosondy 128°. Stworzono dwie numeryczne powierzchnie dna i poddano je porównaniu. Na rysunku nr 2. przedstawiono wyniki badań hydrograficznych w postaci niepewności

standardowej pomiaru głębokości w funkcji kąta odchylenia wiązki akustycznej od linii pionu.



Rys. 2. Niepewność standardowa pomiaru głębokości echosondą wielowiązkową EM 3002D. Opracowano na podstawie sondażu batymetrycznego akwenu ze średnią głębokością 52,5 m

PODSUMOWANIE

Analiza wykresu pozwala postawić tezę, że optymalnym kątem roboczym echosondy wielowiązkowej EM 3002D na głębokości 52m jest kąt z zakresu 80°-100°, dający w efekcie pas pomiarowy o szerokości 85-120 metrów. W takim zakresie kątowym echosonda utrzymuje stałą, niewielką niepewność pomiaru głębokości spełniając jednocześnie standardy pomiarów hydrograficznych.

Systemy echosond wielowiązkowych odgrywają dziś ogromną rolę w dziedzinie pomiarów hydrograficznych. Te z kolei przekładają się bezpośrednio na dokładność i wiarygodność morskich map nawigacyjnych, niezbędnych do zapewniania bezpiecznej nawigacji na akwenach wodnych. Aby w pełni wykorzystywać możliwości systemów wielowiązkowych należy jednak zbadać ich rzeczywiste zdolności pomiarowe. Szacowanie optymalnych parametrów pracy MBES powinno opierać się na metodach statystycznych oraz badaniach empirycznych na morzu.

BIBLIOGRAFIA

1. Fernandes W.A., *An approach towards solving refraction problems in EM-1002 multi-beam echosounder system*, National Institute of Oceanography, Council of Scientific & Industrial Research, India NIO/TR-3/2007
2. Fernandes W.A., *A method to eliminate refraction artifacts in EM1002 multibeam echosounder system*, National Institute of Oceanography, NIO/TR-01/2011, JUNE 2011.
3. Grządziel A., *Echosonda jednowiązkowa w pomiarach hydrograficznych*, Przegląd Morski nr 4, DMW, Gdynia 2006.
4. Haga K.H., Pohner F., Nilsen K., *Testing multibeam echosounders versus IHO S-44 requirements*, International Hydrographic Review, vol. 4, no. 2, pp. 31–40, August 2003.
5. Hammerstad E., *Multibeam Echo Sounder Accuracy*, Internal Kongsberg Simrad Publication-EM Technical Note, February 2001.
6. Hammerstad E., *The challenges of special order object detection*, in *Sea Technology*, (pp. 40–54), June 2006.
7. Hare R., *Error Budget Analysis for US Naval Oceanographic Office Hydrographic Survey Systems*, University of Mississippi, Hydrographic Science Research Center, 2001.
8. Hare R., Godin, A., Mayer, L.A., *Accuracy Estimation of Canadian Swath (Multibeam) and Sweep (Multitransducer) Sounding Systems*, Tech. Rep., Canadian Hydrographic Service, 1995
9. Hare R., Eakins B., Amante Ch., Taylor L.A., *Modeling bathymetric uncertainty*, Konferencja US HYDRO 2011
10. International Hydrographic Organization, Intergovernmental Oceanographic Commission, *The IHO-IOC GEBCO Cook Book*, IHO Publication B-11, Monaco, Sept. 2014, 331pp - IOC Manuals and Guides 63, France, Sept. 2014, 331pp
11. IHO Publication M-2, *The need for national Hydrographic Services*, Version 3.0.4., Monaco July 2015

12. Kasum J., Bićanić Z., Jeličić T., *Accuracy of sea charts and navigational publications and the influence of printing*, ACTA GRAPH. 15(2003)2, 73-82
13. Mahmud, Mohd. Razali and Md. Said, Najhan (2006) *Solving Uncertainty in the Calibration of Multibeam Echosounder System*. In: *Hydrography Survey: Current Trends, Techniques and Applications*. Penerbit UTM, Johor, 143 - 164. ISBN 978-983-52-0581-1, [dostęp online 17.10.2015] www.penerbit.utm.my/bookchapterdoc/FKSG/bookchapter_fkksa01.pdf
14. Silva Pereira D.L., Hughes Clarke J.E, *Improving shallow water multibeam target detection at low grazing angles*, U.S. Hydrographic Conference 2015, 1 National Harbor, MD, March 16-19, 2015
15. Simons D.G., Snellen M., *Lecture notes "Seafloor mapping" part 2*, Delft Institute of Earth Observation and Space Systems (DEOS) Faculty of Aerospace Engineering Delft University of Technology Kluyverweg 1 2629 HS Delft
16. Ybarra R., *Accuracy assessment of outer-beam and beam angle estimates from bathymetric multi-beam sonar in fjord environments*, U.S. Hydro 2015 Conference
17. Zięba A., *Analiza danych w naukach ścisłych i technice*, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2014

VERTICAL UNCERTAINTY IN THE MULTIBEAM ECHOSOUNDER SWATH WIDTH

Abstract

The analysis of multibeam echosounder bathymetry uncertainty has been presented in the paper. In addition to this, the article discussed the importance of swath system to safety of transportation and shipping. Authors described the principle of depth measurement and sources of uncertainty in multibeam echosounder. Moreover, the article shows the results of the survey of the multibeam depth measurement uncertainty conducted in the Gulf of Gdansk in 2015.

Autorzy:

mgr inż. **Artur Grządziel** – dowódca ORP Arctowski, dywizjon Zabezpieczenia Hydrograficznego MW

dr hab. inż. **Mariusz Wąż** – starszy wykładowca, Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej

dr hab. inż. **Krzysztof Naus** – starszy wykładowca, Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej

prof. dr hab. inż. **Andrzej Felski** – profesor, Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej