



**Artur Makar, Krzysztof Naus**

**POZYSKIWANIE DANYCH DO TWORZENIA  
NUMERYCZNEGO MODELU DNA**

**OBTAINING OF DATA FOR DIGITAL SEA BOTTOM MODEL**

*Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej  
Naval University of Gdynia, Institute of Navigation and Hydrography*

**STRESZCZENIE.** W artykule przedstawiono proces pozyskiwania danych do tworzenia numerycznego modelu dna, zarówno morskiego, jak i akwenów śródlądowych. Ze względu na wykorzystywanie w pomiarach morskich tych samych systemów pozycyjnych, co w pomiarach lądowych, scharakteryzowano wyłącznie aparaturę do pomiaru głębokości oraz urządzenia do pomiarów towarzyszących. Przedstawiono technologię prowadzenia pomiarów, zakłócenia ruchu jednostki pomiarowej oraz możliwości zwiększenia dokładności pomiarów hydrograficznych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** pomiary hydrograficzne, numeryczny model dna, prędkość dźwięku w wodzie, przechyły boczne i wzdłużne

**WSTĘP**

Technologia prowadzenia pomiarów hydrograficznych, mających na celu, między innymi, wyznaczenie kształtu dna badanego akwenu, oparta jest na wykorzystaniu systemu pozycyjnego oraz urządzenia do pomiaru głębokości. Współczesnymi systemami pozycyjnymi są: DGPS oraz GPS-RTK w zależności od wyposażenia zespołu pomiarowego oraz klasy pomiarów hydrograficznych. Pomimo tego, że system DGPS zapewnia uzyskanie dokładności wyznaczania pozycji dla klasy specjalnej, charakteryzującej się największymi wymaganiami w tym zakresie, to GPS-RTK jest wykorzystywany szczególnie na akwenach o dużym urozmaiceniu dna.

Wśród automatycznych urządzeń do pomiaru głębokości można wymienić echosondy jedno- i wielowiązkowe. Te ostatnie są wykorzystywane przez wyspecjalizowane w tym zakresie instytucje ze względu na ich wysoki koszt. Bardzo często wykorzystywane są echosondy jednowiązkowe, których zastosowanie powoduje większą pracochłonność pomiarów.

Istotnym zagadnieniem podczas pomiarów jest to, że antena systemu pozycyjnego oraz przetwornik elektroakustyczny echosondy znajdują się w różnych miejscach. W wyniku ruchu jednostki pomiarowej oraz jego zakłóceń, współrzędne punktu, od

którego na dnie odbija się fala akustyczna, nie są rzutem pozycji anteny systemu pozycyjnego na powierzchnię dna. Powstają wtedy błędy pomiarowe wpływające na dokładność pomiarów hydrograficznych.

## 1. POMIAR GŁĘBOKOŚCI

Podstawowym urządzeniem do pomiarów głębokości jest obecnie hydrograficzna echosonda jednowiązkowa odpowiedniej klasy, realizująca pomiar i zapis z wymaganą dokładnością, posiadająca możliwość pełnej kalibracji, prowadzącej do eliminacji bądź określenia wartości wszystkich możliwych błędów pomiarowych. Echosondy jednowiązkowe osiągnęły dokładność pomiaru poniżej decymetra i są w stanie dobrze określić charakterystykę dna. Rynek oferuje szeroki wybór urządzeń i jest w stanie zaspokoić potrzeby większości użytkowników a zwłaszcza hydrografów.

Podstawowym zadaniem echosondy jest dostarczenie hydrografowi informacji o głębokościach w akwenu pomiarowym. W zależności od typu, echosonda może dostarczać takich danych albo w postaci echogramu, albo w postaci zapisu na nośniku magnetycznym, z możliwością jego wydruku (na bieżąco lub w okresie późniejszym).

Zasada pomiaru głębokości polega na pomiarze czasu przejścia fali akustycznej od przetwornika, wytwarzającego falę akustyczną promieniowaną kierunkowo, do dna i po odbiciu powracającej do przetwornika. Impuls pokonuje drogę do dna i z powrotem w czasie:

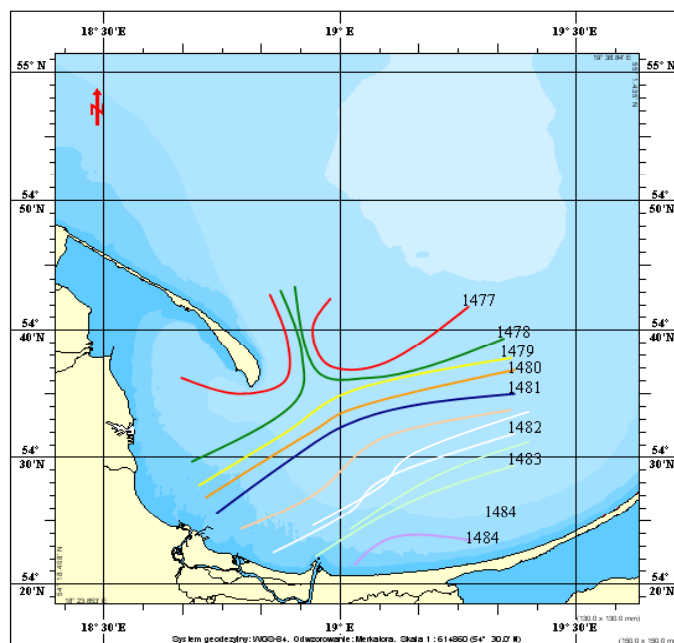
$$t = \frac{2h}{C}$$

gdzie:  $t$  oznacza czas,  $h$  mierzona głębokość, a  $C$  – prędkość rozchodzenia się dźwięku w wodzie. Jest to zależność uproszczona i poprawna przy założeniu, że prędkość fali akustycznej w wodzie jest stała w funkcji głębokości.

## 2. PIONOWY ROZKŁAD PRĘDKOŚCI DŹWIĘKU ORAZ JEGO ZMIANY SEZONOWE I DOBOWE

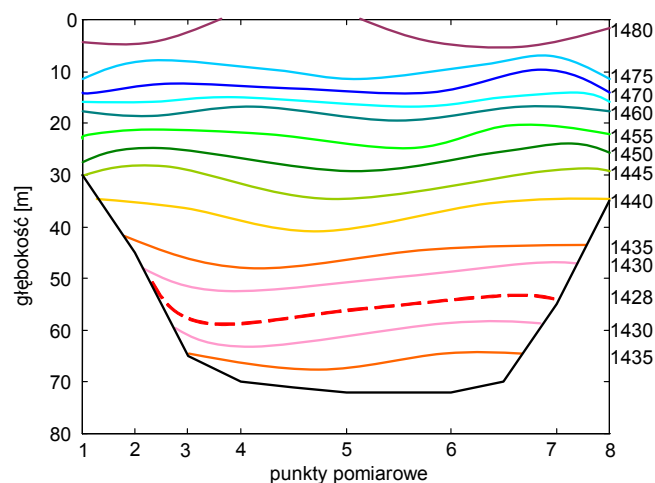
Prędkość dźwięku w wodzie jest nieliniową funkcją jej parametrów pierwotnych: zasolenia oraz temperatury. Na niewielkich akwenach, przy małych zmianach zasolenia, głównym czynnikiem wpływającym na zmiany rozkładów prędkości dźwięku jest zmiana temperatury. Zmiany te mają charakter długookresowy (zmiany sezonowe) oraz krótkookresowy (zmiany dobowe).

Głównym czynnikiem wpływającym na zmiany rozkładów prędkości dźwięku w wodzie o okresie długoterminowym jest różnica temperatur wody w poszczególnych porach roku. Zimna woda przy powierzchni w okresie zimowym oraz jej wzrost na większych głębokościach powoduje, że prędkość dźwięku wzrasta wraz ze wzrostem głębokości. W pozostałych okresach (wiosna, lato, jesień), prędkość dźwięku maleje w wyniku spadku temperatury wody, która jest najcieplejsza na powierzchni. Na rys. 1 przedstawiono rozkłady przestrzenne pola prędkości dźwięku na powierzchni w Zatoce Gdańskiej, natomiast na rys. 2 przekrój pionowy pola prędkości na kierunku zachód-wschód w sezonie letnim.



Rys. 1. Rozkład przestrzenny pola prędkości dźwięku na powierzchni w Zatoce Gdańskiej w sezonie letnim [1, 7]

Fig. 1. The distribution of the sound speed on the surface in Gulf of Gdansk for summer season [1, 7]



Rys. 2. Przekrój pionowy pola prędkości dźwięku w Zatoce Gdańskiej na profilu zachód-wschód w sezonie letnim [1, 7]

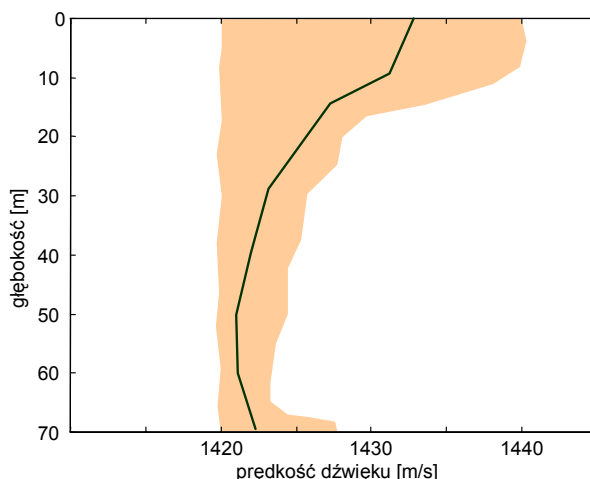
Fig. 2. The vertical cross section on west-east direction in Gulf of Gdansk for summer season [1, 7]

Do pomiaru prędkości dźwięku wykorzystywane są mierniki dokonujące pomiaru parametrów pierwotnych wody: ciśnienia hydrostatycznego, zasolenia oraz temperatury. Poniżej przedstawiono widok miernika Marimatech HMS-1820CTD.



Rys. 3. Pomiar prędkości dźwięku w wodzie z wykorzystaniem miernika HMS-1820CTD  
Fig. 3. Measurement of the sound speed in water using the profiler Marimatech HMS 1820CTD

Głównym czynnikiem wpływającym na zmiany dobowe, podobnie jak na zmiany sezonowe, jest różnica temperatur różnych warstw wody wywołana nagrzewaniem warstwy powierzchniowej przez słońce (efekt popołudniowy). Zakres zmian prędkości dźwięku o charakterze dobowym oraz średni dobowy profil prędkości dźwięku przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Zakres zmian prędkości dźwięku o charakterze dobowym oraz średni dobowy profil prędkości dźwięku w Zatoce Gdańskiej w sezonie letnim [1, 7]

Fig. 4. The day and night fluctuation of the sound speed and its mean vertical distribution in Gulf of Gdansk for winter season [1, 7]

### 3. BŁĘDY POMIARÓW HYDROGRAFICZNYCH

Pomiarom głębokości towarzyszy wiele zakłóceń wpływających na dokładność jej pomiaru. Spośród głównych przyczyn można wymienić [6]:

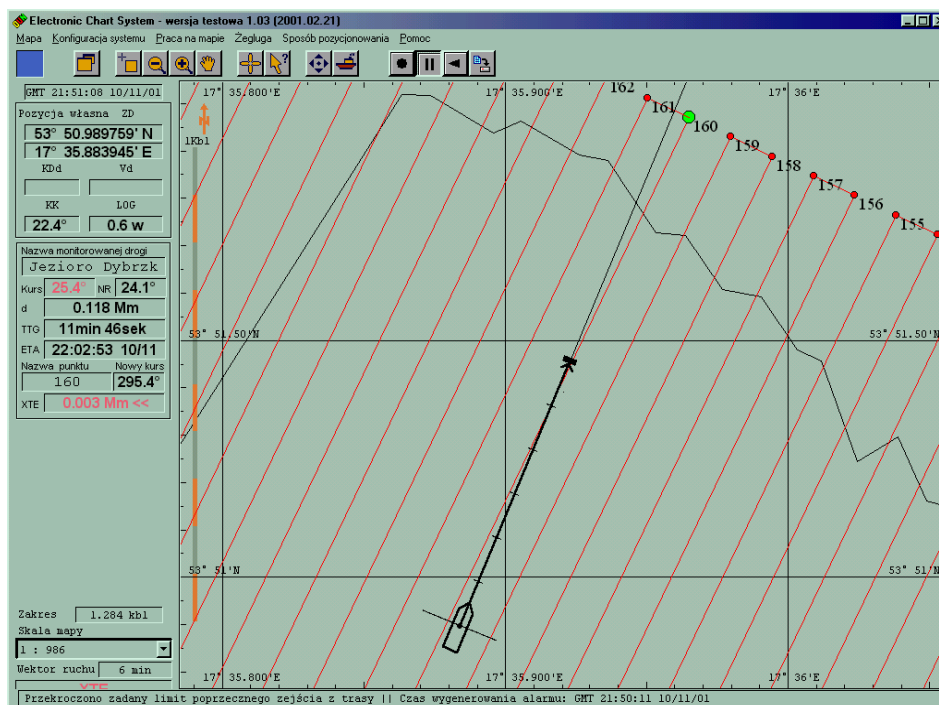
- instrumentalne błędy pomiaru czasu,
- rozmieszczenie przetworników (odległość pozioma pomiędzy przetwornikami, zanurzenie),
- zmiana zanurzenia wywołana ładunkiem i ruchem okrętu,
- rozkład prędkości dźwięku w wodzie,
- ruch okrętu (przechyły wzdłużne, poprzeczne i nurzanie),
- nachylenie wiązki w wodzie,
- nachylenie dna,
- częstotliwość przetwornika.

Część tych zakłóceń jest kompensowana za pomocą dodatkowych urządzeń. W przypadku rozkładu prędkości dźwięku w wodzie, większość echosond uwzględnia jej wartość średnią do wyznaczenia głębokości. Takie przybliżenie powoduje powstawanie błędów pomiaru głębokości, które są zależne od:

- częstotliwości wykonywania pomiarów rozkładów prędkości dźwięku, wynikających ze zmian dobowych,
- gęstości pomiarów prędkości dźwięku wynikających z jej zmian przestrzennych,
- gradientu zmian pionowych rozkładów prędkości dźwięku,
- głębokości akwenu.

#### 4. RUCH JEDNOSTKI POMIAROWEJ ORAZ JEGO ZAKŁÓCENIA

Jednostka pomiarowa porusza się po zaprojektowanych profilach, najczęściej równoległych. Odległość między profilami jest zależna od klasy pomiarów oraz urozmaicenia dna badanego akwenu. Poniżej przedstawiono okno aplikacji do prowadzenia jednostki pomiarowej po profilach sondażowych, opracowanej w INiHM AMW.



Rys. 5. Okno aplikacji do prowadzenia jednostki pomiarowej po profilach sondażowych  
Fig. 5. The main window of the application for sounding on profiles

Jednostka pomiarowa, na której jest zamontowany układ pomiarowy, poddawana jest zakłóconemu ruchowi, wynikającemu z oddziaływania czynników zewnętrznych. W odróżnieniu od klasycznego modelu nawigacji, prowadzonego w dwóch stopniach swobody, ruch jednostki pomiarowej należy rozpatrywać w sześciu stopniach swobody: trzech przyrostach liniowych i trzech kątowych. Do przyrostów liniowych należy zaliczyć przyrosty w trzech współrzędnych: X, Y i Z [6]:

1. Zmiana położenia (przyrost współrzędnej X).
2. Zmiana położenia (przyrost współrzędnej Y).
3. Nurzanie (przyrost współrzędnej Z).

Do przyrostów kątowych należy zaliczyć przyrosty kątowe poszczególnych osi: X, Y i Z [6]:

1. Przechył boczny (zmiana kąta wokół osi X).
2. Przechył wzdłużny (zmiana kąta wokół osi Y).
3. Myszkowanie (zmiana kąta wokół osi Z).

Uwzględnianie powyższych parametrów jest możliwe z wykorzystaniem specjalistycznych mierników przyrostów i przyspieszeń liniowych oraz kątowych. Są one sprzedawane przez producentów echosond oraz posiadają wyjście cyfrowe umożliwiające współpracę z zintegrowanymi systemami hydrograficznymi.



Rys.6. Mierniki przyspieszeń liniowych i kątowych  
Fig. 6. Inclination and acceleration sensors

Zakłócony ruch jednostki pomiarowej można rozpatrywać jako translację (w wyniku nurzania) oraz rotację (w wyniku występowania przechyłów wzdłużnych i poprzecznych) lokalnego pomiarowego układu odniesienia związanego z jednostką pomiarową do geocentrycznego układu odniesienia. Rotację bazy pomiarowego układu odniesienia opisać można za pomocą kilku grup parametrów [8]:

- kątów orientacji przestrzennej,
- kątów Eulera,
- cosinusów kierunkowych,
- parametrów Rodrigeza- Hamiltona,
- parametrów Cayley-Kleina,
- aproksymacji Pade.

## WNIOSKI

Ze względu na specyfikę prowadzenia pomiarów hydrograficznych, nie zawsze odbywają się one w warunkach braku zakłóceń ruchu jednostki pomiarowej. Istnieje zatem konieczność opracowania modelu pomiarowego układu odniesienia związanego z jednostką pomiarową. W modelu tym należy uwzględnić przechyły boczne i wzdłużne wynikające z oddziaływania czynników zewnętrznych, takich jak falowanie, wiatr oraz prąd, jak również wynikające z przemieszczania się środka ciężkości jednostki, szcze-

gólnie małej, w wyniku ruchu załogi jednostki pływającej. Oprócz metod rotacji bazy układów odniesienia, atrakcyjnym rozwiązaniem tego problemu wydaje się być metoda trzech niewspółliniowych punktów opierająca się na znajomości położenia trzech punktów znajdujących się na jednostce pływającej. Konieczna jest także weryfikacja zmiany poziomu wody w trakcie wykonywania pomiarów.

## PIŚMIENNICTWO

- Klusek Z.: Propagation Conditions of the Sound Speed in the Southern Baltic, Polish Academy of Science, 1990.
- Kopacz Z., Makar A.: Granice dokładności pozycji okrętu, VII Konferencja Naukowo-Techniczna Inżynierii Ruchu Morskiego, cz. II, str. 7-17, Szczecin 1997.
- Makar A., Apanowicz J.: Automatyzacja procesu badania kształtu dna morskiego dla potrzeb lokalizacji przeszkód nawigacyjnych, VII Konferencja Naukowo-Techniczna Inżynierii Ruchu Morskiego, cz. I, str. 25-37, Szczecin 1997.
- Makar A.: The Limits of Accuracy of Bathymetric Sounding, XI International Scientific and Technical Conference „The Part of Navigation in Support of Human Activity on the Sea”, Gdynia 1998.
- Makar A.: Influence of the Vertical Distribution of the Sound Speed on the Accuracy of Depth Measurement, Reports on Geodesy, 5 (60), pp. 31-34, Warszawa 2001.
- Makar A.: Shallow Water Geodesy: Surveys Errors During Seabed Determination, Reports on Geodesy, 2 (62), pp. 71-78, Warszawa 2002.
- Makar A.: Vertical Distribution of the Sound Speed and its Mean Value in Depth Measurements Using a Singlebeam Echosounder, Reports on Geodesy, 2 (62), pp. 79-85, Warszawa 2002.
- Makar A.: Methods of Movement Disruptions Compensation of Sounding Vessel, Reports on Geodesy, Warszawa 2003 (w druku).
- Makar A., Naus K.: Movement Disruptions Compensation of Sounding Vessel with Three Nonlinear Points Method, Reports on Geodesy, Warszawa 2003 (w druku).

## OBTAINING OF DATA FOR DIGITAL SEA BOTTOM MODEL

### Summary

In this paper has been shown the process of obtaining of data for digital model of sea and inland bottom. Because of usage during sea surveys and terrestrial measurements these same positioning systems, there have been described only instruments for depth and accompanying measurements. There also have been presented the technology of surveying, movement disruptions of the sounding vessel and possibilities of increasing the accuracy of the hydrographic surveys.

KEY WORDS: hydrographic surveys, digital sea bottom model, sound speed in water, pitch, roll

Recenzent: dr inż. Andrzej Wróbel, AGH, Kraków