



Detekcja obiektów szczególnie niebezpiecznych dla środowiska na dnie morza z wykorzystaniem obrazowań satelitarnych i lotniczego skaningu batymetrycznego

Tomasz Kogut, Tomasz Oberski, Paweł Kogut
Politechnika Koszalińska

1. Wstęp

Składowiska substancji chemicznych w tym gazów bojowych ulokowane na dnie Bałtyku stanowią duże zagrożenie dla środowiska naturalnego, a także dla zdrowia i życia ludzi. Na dzień dzisiejszy nie są znane wszystkie lokalizacje tych składowisk, a pogarszający się ich stan techniczny oraz pływy morskie sprawiają, że okresowe monitorowanie dna morskiego jest jednym z najistotniejszych zadań władz hydrograficznych gwarantujących ochronę środowiska morskiego oraz bezpieczną żeglugę statków, których kolizja może spowodować katastrofę ekologiczną. Pomiaru takie przeprowadzane, za pomocą echosondy umieszczonej na statku, są bardzo kosztowne. Pożądanym celem takich pomiarów jest również wykrywanie obiektów leżących na dnie, do których należą m.in. duże kamienie, wraki statków, ale także odpady będące zagrożeniem biologicznym lub chemicznym, które mogą zagrażać środowisku naturalnemu. Dlatego też poszukiwane są nowe metody pomiaru, które pozwolą na szybsze i tańsze pozyskiwanie danych z morza. Innym problemem istotnym w ochronie i zarządzaniu wybrzeżem jest określenie linii brzegowej. Dane z pomiaru na głębokości 0–2 m są niekompletne lub nie zostały w ogóle pomierzone ze względu na trudności wpłynięcia statku na tak płytkie wody.

Lotniczy skaning batymetryczny (ang. ALB – Airborne Laser Bathymetry) jest obiecującą techniką do pomiaru dna morskiego, która na przestrzeni ostatnich lat bardzo rozwinęła się ze względu na możliwości skanera, jak i możliwości oprogramowania do post procesingu. Skaner wyposażony jest w zieloną wiązkę lasera o długości fali 532 nm [14], który może penetrować słup wody lub w kombinację zielonej i podczerwonej (1064nm) wiązki laserowej [1], w którym dodatkowo wiązka podczerwona odbija się od powierzchni wody. Głębokość określana jest na podstawie różnicy czasu rejestracji wiązki odbitej od powierzchni wody oraz wiązki odbitej od dna. Tym samym gęstość punktów znacznie zależy od częstotliwości impulsu, co określa rodzaj i możliwości skanera oraz kondycja wody podczas pomiaru [8,15]. Alternatywną metodą do pomiarów echosondą i ALB jest metoda satelitarna, która może być wykorzystywana do określania głębokości zwłaszcza na dużych obszarach czystych wód [3].

W publikacji przedstawiono analizę zebranych danych w ramach projektu „Badania nad wykorzystaniem lotniczego skaningu batymetrycznego w pomiarach hydrograficznych” realizowanego przez Instytut Fotogrametrii i Geoinformacji w Uniwersytecie Leibniza w Hanowerze (IPI- Institute of Photogrammetry and GeoInformation, Leibniz University Hannover) oraz Federalną Agencję Morską i Hydrograficzną w Rostocku (BSH Rostock).

2. Metody pomiaru

Konwencjonalną metodą pomiaru zbierającą informacje o dnie morskim jest echosonda jedno- lub wielowiązkowa, której koszt jest wysoki, dlatego zasadne jest korzystanie z innowacyjnych metod pozyskiwania danych batymetrycznych.

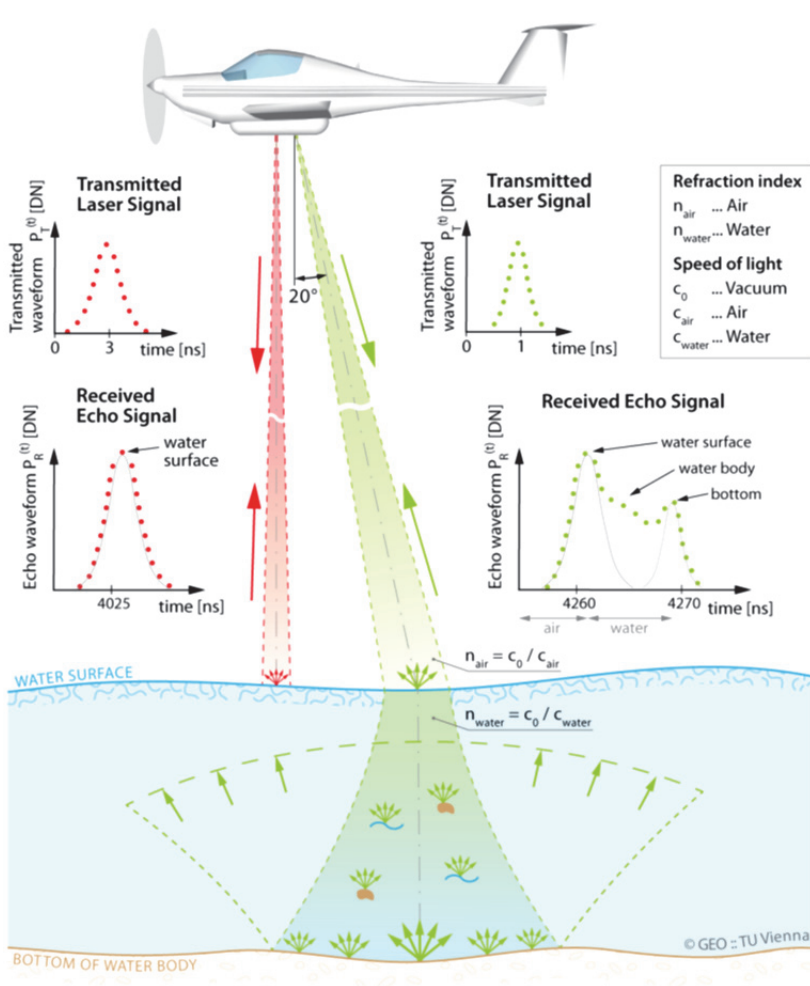
2.1. Batymetria laserowa

Lotnicza batymetria laserowa (ALB – Airborne Lidar Bathymetry) jest relatywnie nową metodą do zbierania informacji 3D dna z względnie płytkich zbiorników [5]. Rozwój batymetrii laserowej rozpoczął się w latach 60 XX wieku dla zastosowań armii w celu wykrywania statków podwodnych. Hickaman i Hogg [6] zaproponowali wykorzystanie lotniczego skaningu do pomiarów batymetrycznych, co doprowadziło do wytworzenia skanerów o dużej częstotliwości pomiaru takich jak Riegl VQ-820-G

[14] lub Chiroptera [1]. Tego typu skanery pozwalają na uzyskanie gęstej chmury punktów w wodach o przezroczystości odpowiadającej „głębokości Secchi”. Przezroczystość wody mierzona jest za pomocą dysku Secchiego i określa głębokość do jakiej ludzkie oko widzi dysk zanurzony w wodzie. Skanerem pozwalającym na pomiar dla przezroczystości wody do trzykrotności „głębokości Secchi” jest HawEye II [1], jednak pozyskana chmura ma dużo mniejszą gęstość. Zgodnie z badaniami prowadzonymi przez Irish i Lillzycrop [8], pomiary wykorzystujące lotniczą batymetrię laserową pozwalają osiągnąć bardzo obiecujące wyniki pomiaru głębokości do 60 m w czystej wodzie. W pomiarach batymetrii laserowej wysyłany jest krótki puls zielonego lasera, którego część odbija się od powierzchni wody, natomiast reszta wiązki penetruje jej słup, który spowalnia i zakrzywia wiązkę (rysunek 1). Współczynnik załamania w czystej wodzie przy 20°C wynosi 1.33 z czego wynika, że prędkość światła jest o 1/3 szybsza w powietrzu niż w wodzie [11]. Dodatkowe odbicia pomiędzy lustrem wody, a dnem mogą być potencjalnymi obiektami. Zastosowanie kombinacji z dodatkową wiązką podczerwoną pozwala na uzyskanie pewnej informacji na temat lustra wody, ponieważ wiązka nie jest w stanie przeniknąć przez słup wody, ale również nie daje gwarancji, że wystarczy energii na jej odbicie [11].

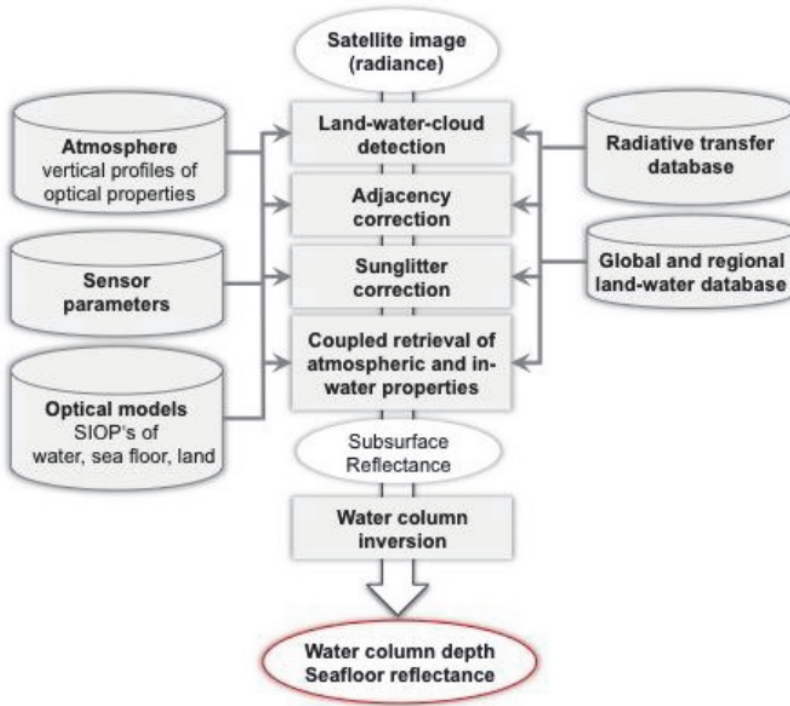
2.2. Batymetria satelitarna

Batymetria satelitarna jest nową metodą wykorzystującą do przetworzenia wysokorozdzielcze zobrazowania satelitarne. Algorytm EO-MAP's Modular Inversion Processor (MIP) zbudowany jest z modułów połączonych z zewnętrznymi bazami danych w celu półautomatycznego przetwarzania danych wejściowych, jakimi są zobrazowania satelitarne. Rysunek 2 przedstawia schemat przetwarzania MIP do uzyskania danych na temat dna morskiego, na podstawie którego, w początkowej fazie dane przetwarzane są za pomocą maski grunt-woda-chmury wraz z korektą sąsiedztwa, promieni słonecznych oraz wpływem czynników atmosfery. Etap przetwarzania obejmuje zdefiniowanie wody, rodzaju dna i uzyskiwanie głębokości wody.



Rys. 1. Zasada pozyskiwania danych batymetrycznych przy użyciu skanera batymetrycznego [11]

Fig. 1. The principle of bathymetric data acquisition using bathymetric laser scanner [11]

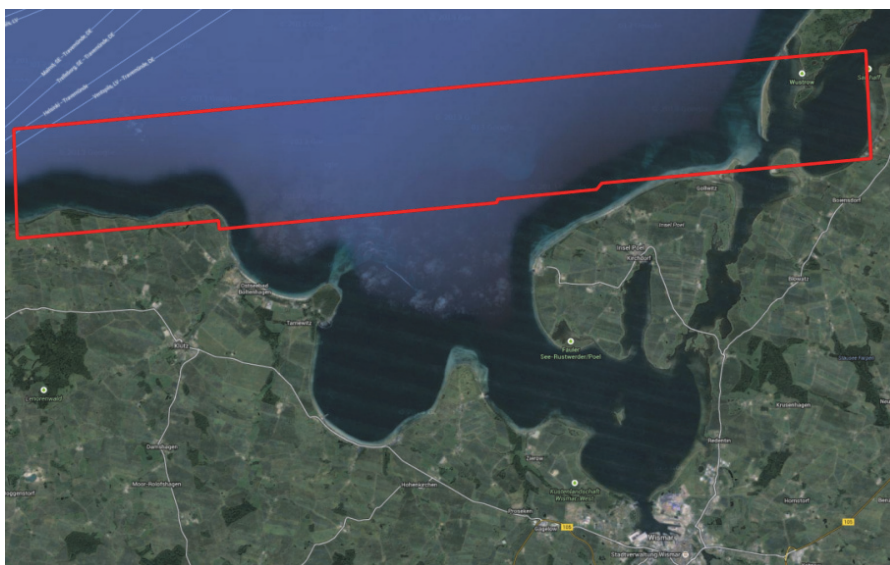


Rys. 2. Schemat Modular Inversion Processor [Eomap]

Fig. 2. Schematic of the Modular Inversion Processor [Eomap]

3. Charakterystyka danych

Obszar testowy usytuowany jest w pobliżu wyspy Poel na Morzu Bałtyckim w okolicach miasta Wismar (Niemcy) (rysunek 3), gdzie maksymalna głębokość wynosi ok. 23 m. Dane z lotniczego skaningu batymetrycznego zostały pozyskane we wrześniu 2013 roku przy użyciu dwóch skanerów firmy AHAB, wyposażonych w wiązkę zieloną ($\lambda = 532$ nm) i podczerwoną ($\lambda = 1064$ nm). Pierwszy z nich Chiroptera wykorzystywany do pomiarów z dużą częstotliwością i z możliwością penetracji słupa wody do głębokości określonej przez zasięg widzenia dysku Secchi [1] oraz drugi HawkEye II wykorzystywany do pomiarów z mniejszą częstotliwością, ale z możliwością penetracji słupa wody odpowiadającej trzykrotności „głębokości Secchi”. Obszar skanowania został zaznaczony czerwonym poligonem na rysunku 3.



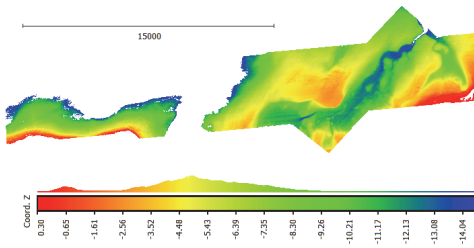
Rys. 3. Obszar testowy [Google]

Fig. 3. Test area [Google]

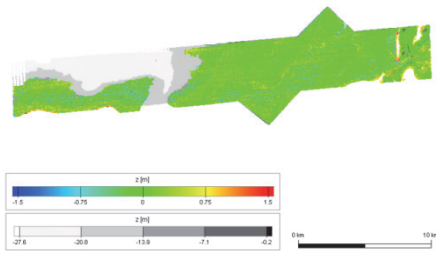
Dane z batymetrii satelitarnej zostały pozyskane od firmy Eomap, i opracowane na podstawie zdjęcia satelitarnego RapidEye z 05.05.2011 r. z pięcioma kanałami spektralnymi o rozmiarze piksela 5 m.

4. Analiza danych

Dane z lotniczego skaningu laserowego, których uzyskana głębokość sięga prawie 15 m (rysunek 4) zostały poddane analizie dokładności na podstawie porównania z pomiarami wykonanymi echosondą. Dane te, były gromadzone w ramach różnych kampanii pomiarowych w ciągu ostatnich pięciu lat i przeliczono je do rastra o wielkości piksela 1 m. Stwierdzono, że różnica wysokości w ponad 95% punktów leży w przedziale ± 0.5 m (rysunek 5), co jest zgodne ze Standardem S44 Kategoria 1a Międzynarodowej Organizacji Hydrograficznej. Przybliżone głębokości osiągnął Flatman i in. [4] w projekcie „Blast” skanując wybrzeża Danii, jednakże różnica wysokości przekraczała ± 0.5 m. Podobne rezultaty zaprezentował również Niemeyer i in. [12,13], jednakże do swoich analiz wykorzystywał dane pozyskane przy za pomocą skanera wyposażonego jedynie w zieloną wiązkę lasera.



Rys. 4. Rozkład głębokości w obszarze testowym na podstawie danych ALB
Fig. 4. Depth in test area based on ALB data



Rys. 5. Różnica wysokości pomiędzy echosondą i ALB
Fig. 5. Difference between echosounding data and ALB data

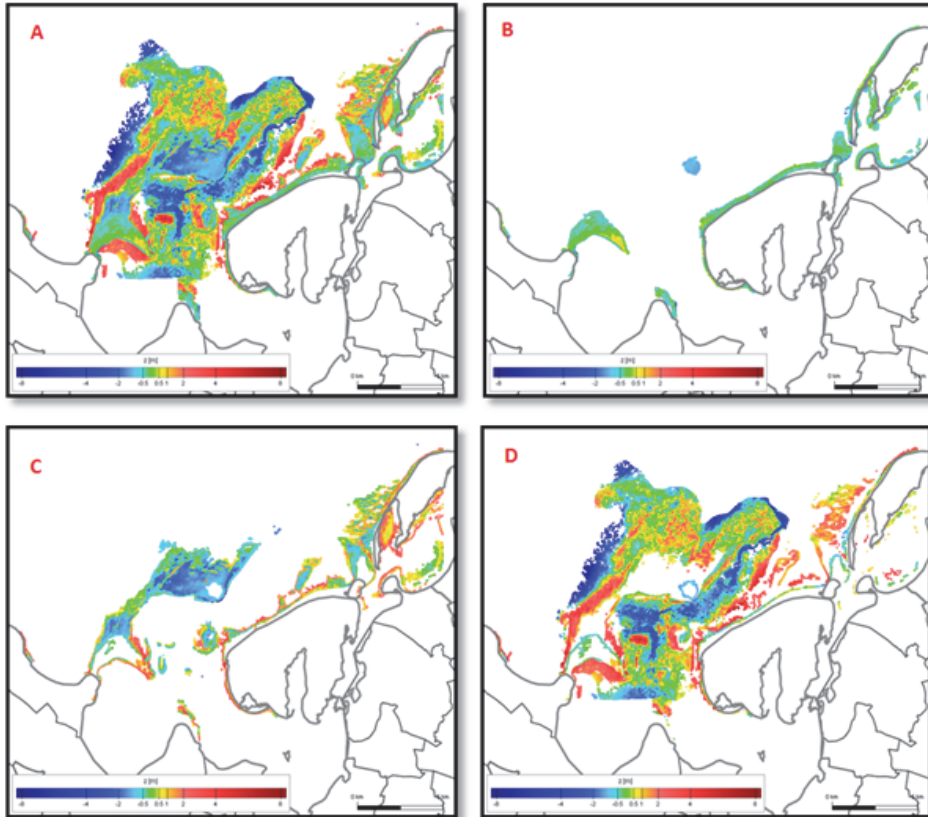
Na podstawie bazy danych obiektów podwodnych bazującej na pomiarach wykonanych echosondą, dane ALB poddano ocenie możliwości wykrycia obiektów na dnie morskim. Stwierdzono, że pozyskane informacje z lotniczego skaningu batymetrycznego można wykorzystywać do detekcji obiektów na dnie morskim. Rysunek 6 przedstawia zidentyfikowane punkty w czarnym okręgu, które znacząco odbiegają od dna i są zbieżne z bazą danych obiektów podwodnych. Uzyskane wyniki mogą wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa w ruchu morskim oraz ułatwić identyfikację odpadów zagrażających środowisku.



Rys. 6. Obiekt w chmurze punktów
Fig. 6. Object in point cloud

Dane batymetryczne z przetworzonych zobrażeń satelitarnych, zakupione jako gotowy produkt, zostały przedstawione na rysunku 7_A w trzech różnych klasach jakościowych: B – najlepsza (Q1), C – średnia (Q2), D – najgorsza (Q3). W dalszych analizach zostały one poddane kontroli poprzez obliczenie różnicy wysokości w stosunku do danych pozyskanych echosondą i otrzymano wyniki:

- W klasie Q1: 75% uzyskanych punktów jest pomiędzy $\pm 0.5\text{m}$, w tym ponad 25% nie różni się wysokością,
- W klasie Q2: 43% uzyskanych punktów jest pomiędzy $\pm 1\text{ m}$, jednakże nie zaobserwowano danych z różnicą 0m,
- W klasie Q3: 34% uzyskanych punktów jest pomiędzy $\pm 0.5\text{m}$, w tym ok 12% nie różni się wysokością,



Rys. 7. A – Dane batymetryczne z przetworzonych zobrazowań satelitarnych; Klasy jakościowe: B – najlepsza (Q1), C – średnia (Q2), D – najgorsza (Q3).

Fig. 7. A – Bathymetric data from processed satellite imagery; Quality class: B – best (Q1), C – middle (Q2), D – worse (Q3)

Różnice wysokości można zaobserwować na rysunku 7 w poszczególnych klasach, które występują głównie w przedziale ± 4 m (odcień czerwony i niebieski), ale osiągają również ± 8 m w skrajnych przypadkach.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że używana jakość danych batymetrycznych z przetworzonych zobrazowań satelitarnych jest bardzo niska i dalsze przetwarzanie w celu uzyskania numerycznego modelu dna morskiego nie przyniesie oczekiwanych rezultatów oraz detekcja obiektów na dnie w tym przypadku jest niemożliwa.

5. Podsumowanie

Wykorzystanie danych z lotniczego skaningu batymetrycznego pozwala na detekcję obiektów znajdujących się na dnie morskim. Jednakże wcześniej wymagany jest post processing związany z klasyfikacją chmury punktów, która prowadzi do wyodrębnienia klas gwarantujących poprawną identyfikację obiektów, co wpływa na bezpieczeństwo oraz pośrednio chroni środowisko naturalne. Niestety przezroczystość wody oraz gęstość chmury punktów znacząco wpływają na wielkość i skuteczność wykrywania obiektów leżących na dnie morskim. Pozyskiwanie danych metodą ALB jest tańsze i szybsze [2], dlatego też zasadne wydaje się poszukiwanie metod automatycznej detekcji obiektów podwodnych, co będzie dalszym etapem badań i opierać będzie się o wykorzystanie parametrów pełnego kształtu fali lotniczego skaningu batymetrycznego i sieci neuronowych. Analizy danych satelitarnych wykazały, że dają one wartości poglądowe na temat dna morskiego i nie można ich wykorzystać do rozpoznawania obiektów na dnie morskim zgodnie ze standardem IHO S44 Kategoria 1a [7], a wynika to z wielkości piksela danych wejściowych i ich słabych dokładności po przetworzeniu.

Literatura

1. **Airborne Hydrography AB Chiroptera** – *Technical Specification*. <http://www.airbornehydro.com/chiroptera-technical-specification>, (2013) [Stan 15.11.2014].
2. **Costa B., Battista T., Pittman, S.:** *Comparative evaluation of airborne lidar and ship-based multibeam sonar bathymetry and intensity for mapping coral reef ecosystems*. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 1082–1100 (2009).
3. **Eomap AB Great Barrier Reef Bathymetry Survey**, (2013). http://www.eomap.com/sites/default/files/EOMAP_GBR_Bathymetry_0.pdf [Stan 15.11.2014].

4. **Flatman A., Knudsen T., Andersen R.C.:** *Test of bathymetric LiDAR in Denmark*, Raport, KMS, (2012).
5. **Guenther, G. C.:** *Airborne laser hydrography: System design and performance factors*. Technical Report ADA488936, National oceanic and atmospheric administration (NOAA), (1985).
6. **Hickman G.D., Hogg J.E.:** *Application of an airborne pulsed laser for near shore bathymetric measurements*. Remote Sensing of Environment 1(1), 47–58 (1969).
7. **International Hydrographic Organization:** *IHO Standards for Hydrographic Surveys*. Special Publication N 44, 5th Edition, (2008). www.iho.int/iho_pubs/standard/S-44_5E.pdf [Stan 15.11.2014].
8. **Irish J.L., Lillycrop W.J.:** *Scanning laser mapping of the coastal zone: the shoals system*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54(2), 123–129 (1999).
9. **Lillycrop W. J., Wozencraft J. M., Pope, R. W.:** *Airborne LIDAR Hydrography: a Vision for Tomorrow*. Sea Technology 43(6), 27–34 (2002).
10. **Mallet C., Bretar F.:** *Full-waveform topographic lidar: State-of-the-art*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 64(1), 1–16 (2009).
11. **Mandlbürger G., Pfennigbauer M., Pfeifer N.:** *Analyzing Near Water Surface Penetration in Laser Bathymetry – a Case Study at the River Pielach*. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. II-5/W2, ISPRS Workshop Laser Scanning 2013, 11 – 13 November 2013, Antalya, Turkey, 175–180 (2013).
12. **Niemeyer J., Soergel U.:** *Opportunities of Airborne Laser Bathymetry for the Monitoring of the Sea Bed on the Baltic Sea Coast*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-7/W2, 2013, ISPRS2013-SSG, 11–17 November 2013, Antalya, Turkey, 179–184 (2013).
13. **Niemeyer, J., Kogut, T. Heipke, Ch.:** *Airborne Laser Bathymetry for Monitoring the German Baltic Sea Coast*, Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation 2014, e.V.Gemeinsame Tagung 2014 der DGfK, der DGPF, der GfGI und des GiN (DGPF Tagungsband 23/2014), (2014).
14. **Riegl:** *Datasheet RIEGL VQ-820-G. Riegl Measurement Systems*, http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/10_DataSheet_VQ-820-G_10-06-2013.pdf (2013) [Stan 15.11.2014].
15. **Steinbacher F., Pfennigbauer M., Aufleger M., Ullrich A.:** *High resolution airborne shallow water mapping*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Proceedings of the XXII ISPRS Congress, XXXIX-B1, Melbourne, Australia, 55–60 (2012).

Detection of Sea Bed Objects Extremely Dangerous for Environment Based on Satellite Imagery and Airborne Laser Bathymetry

Abstract

Underwater storage of chemical substances placed on the bottom of the Baltic Sea are a major threat to the environment and the health and life of humans. Today, not all locations of the underwater storage sites are known and worsening of their condition and the tides make a periodic monitoring of the seabed is one of the most important tasks of hydrographic authorities to guarantee the marine environment protection and the safe navigation of vessels whose collision can cause an ecological disaster. The sea bed measurements have been carried out by ship-based echo sounding, but this method is rather expensive. The goal of this paper is to examine the possibility of detection of seabed objects based on satellite imagery and airborne laser bathymetry. The first part of the publication presents the principle of bathymetric data acquisition using bathymetric laser scanner and satellite imagery processing to bathymetric data. The second part of this paper presents an analyses the ALB (Airborne Laser Bathymetry) data and bathymetric data from processed satellite imagery. A comparison to echo sounding data shows only small differences in the depths values of ALB data, more than 95% is between ± 0.5 m, but big differences in the depths values of satellite data. The results of tests to object detection are similar to difference comparison. In data from airborne laser bathymetry is possible to find the object on the sea bed, but in satellite bathymetry data it's very difficult or even impossible to detect some object.

This paper presents the data and results from the project 'Investigation on the use of airborne laser bathymetry in hydrographic surveying', carried out by the German Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH) in cooperation with the Institute of Photogrammetry and GeoInformation, Leibniz Universität Hannover, Germany.

Słowa kluczowe:

Batymetria laserowa, Morze bałtyckie, batymetria satelitarna, ALB, wykrywanie obiektów

Keywords:

Airborne Laser Bathymetry, Baltic Sea, satellite bathymetry, ALB, objects detection