

**WIZUALIZACJA 2/3D PODWODNEGO AKWENU
DLA POTRZEB WYKONANIA
PRECYZYJNYCH MANEWRÓW
JEDNOSTEK PŁYWAJĄCYCH**

2/3D VISUALIZATION OF UNDERWATER VIEW
FOR EXECUTION OF PRECISION MANEUVERS
OF FLOATING BODIES

Andrzej Stateczny, Izabela Bodus-Olkowska

Akademia Morska w Szczecinie

Słowa kluczowe: wizualizacja 3D, batymetria, widok podwodny
Keywords: 3D visualisation, bathymetry, underwater view

Wstęp

Elektroniczne mapy nawigacyjne 2D prezentowane przez system ECDIS (ang. *Electronic Chart Display and Information Systems*) prawie całkowicie wyparły tradycyjne mapy papierowe. Szybki rozwój technologii oraz coraz szersze zastosowanie systemów GIS w procesach decyzyjnych pozwalają na wykorzystanie możliwości wizualizacji 3D do prowadzenia bezpiecznej nawigacji. Wzrost zapotrzebowania na tego typu mapy wynika bezpośrednio ze znacznego natężenia przewozów towarów drogą morską/wodną, w tym szczególnie ładunków niebezpiecznych lub zagrażających środowisku oraz rozwój popularności turystyki wodnej (Góralski, Gold, 2007). Stałe poszerzanie możliwości przeladunkowych portów – co generuje dochód i zwiększa znaczenie danego portu na rynku, powoduje konieczność wprowadzania na akwenu portowe coraz to większych jednostek, niekiedy tzw. statków maksymalnych (o maksymalnych dopuszczalnych wymiarach), co bezpośrednio związane jest z potrzebą wykonywania precyzyjnych manewrów, które to z kolei zależne są od stanu oraz jakości posiadanych informacji batymetrycznych. Współczesne techniki i technologie hydrograficzne umożliwiają w krótkim czasie pozyskanie aktualnych informacji o strukturze dna akwenu, na jakim mają być przeprowadzane manewry wymagające wysokiej precyzji.

Technologia/metodyka opracowania

Nowoczesne technologie oraz sprzęt pomiarowy o coraz większych możliwościach skutkują pozyskiwaniem danych o wysokiej dokładności, co bezpośrednio przekłada się na udoskonalenie produktu końcowego, jakim jest mapa nawigacyjna. Niestety postęp techniczny i technologiczny w obszarze aparatur badawczych nie idzie w parze z rozwojem standardów pozyskiwania danych hydrograficznych. Obowiązującym jest IHO S-44, którego najbardziej rygorystyczna klasa pomiarów – specjalna, dopuszcza błąd pozycji 2 m. W pozycjonowaniu za pomocą GPS-RTK uzyskuje się w tej chwili precyzję rzędu kilku centymetrów. Ponadto standard jest przygotowany do wykorzystania na wodach morskich, nie ma odpowiednich przepisów regulujących precyzję pomiarów na obszarach portowych czy wodach śródlądowych. Pomiarów głębokości na akwenach prowadzone są za pomocą systemów hydroakustycznych – echosond jedno- i wielowiązkowych, a także w oparciu o batymetryczne systemy sonarowe wykorzystujące interferometrię fazową. Gęstość danych w przypadku echosond jednowiązkowych jest niewystarczająca dla potrzeb wiernego odwzorowania modelu dna, który buduje się interpolując wartości głębokości w pomierzonych punktach jednym z wybranych algorytmów interpolacji. Zbudowana w ten sposób mapa nie odzwierciedla dokładnej charakterystyki dna, a jedynie reprezentuje jego mocno przybliżony kształt. Dane pochodzące z echosond wielowiązkowych oraz z batymetrycznych systemów sonarowych pozwalają na uzyskanie wysokiej rozdzielczości danych (rzędu kilku – jeśli chodzi o rozdzielczość poprzeczną – na kilkadziesiąt – rozdzielczość wzdłużną – centymetrów) (Blacquiere, 1998; Moustier, 1993). Rozdzielczość jest uzależniona od prędkości poruszania się jednostki w trakcie wykonywania pomiarów oraz od częstotliwości pracy przetworników. Sygnał akustyczny generowany przez hydrograficzny system interferometryczny jest podobny do impulsu sonaru bocznego – azymutalnie wąskiego, za to dalekosiężnego prostopadle do kierunku ruchu jednostki. Rozpiętość wachlarza wiązki przekracza 240 stopni. Wraz z przesuwaniem się przetwornika formowany jest profil pojedynczych linii tworzących podłużne wstęgi (ang. *swath*) odpowiadające obrazowanej powierzchni dna. Porównanie gęstości danych pozyskanych za pomocą echosondy jednowiązkowej oraz systemu interferometrii sonarowej prezentuje rysunek 1.

Przy wykorzystaniu echosond wielowiązkowych czy sonarów interferometrycznych, pozyskane wysokogęstościowe dane batymetryczne stanowią podstawową informację potrzebną do utworzenia wizualizacji 3D podwodnej części akwenu. Oczywiście przy takiej ilości danych, jakie generują pomiary batymetryczne reprezentowane przez oba systemy hydrograficzne, istotą nie stanowi już fakt rozmiaru wygenerowanej siatki kwadratów. Poziom szczegółowości przy siatce kwadratów o rozmiarze 1x1 m jest na tyle duży, że pozwala ona na zwizualizowanie wszystkich szczegółów topografii dna oraz znajdujących się na nim obiektów. Porównanie dwóch siatek kwadratów o oczkach 0,5 x 0,5 m oraz 1 x 1 m utworzonych z danych pozyskanych za pomocą interferometrycznego systemu sonarowego przedstawia rysunek 2.

Zakres danych dla potrzeb wizualizacji podwodnej części akwenu obejmuje, oprócz danych o głębokościach, szczegółowe dane o wykrytych przeszkodach podwodnych – pozyskane za pomocą sonarów oraz ewentualne informacje o stanie nabrzeża. Wysokie i ultrawysokie częstotliwości dostępnych na rynku sonarów znacznie zwiększają potencjał interpretacyjny obserwowanych obiektów. Częstotliwości rzędu 600/1600 kHz pozwalają na prawidłowe zdefiniowanie znajdujących się na dnie przeszkód, nawet przez amatorów hydro-

grafii (rys. 3). Dodatkową informacją, jeśli chodzi o wizualizację widoku podwodnego danego akwenu, w szczególności dla potrzeb wykonywania precyzyjnych manewrów cumowania jednostek pływających, jest prezentacja graficzna stanu nabrzeża (rys. 4).

Produktem końcowym procedury pozyskania niezbędnych danych jest wizualizacja 3D podwodnej części akwenu, zawierająca wszystkie niezbędne informacje dotyczące topografii dna wraz z prezentacją graficzną czystości dna (rys. 5). Dane niezbędne do sporządzenia zobrazowania charakterystyki rozkładu głębokości pozyskano za pomocą batymetrycznego systemu sonarowego GeoSwath+ i systemu pozycjonowania GPS-RTK, z zastosowaniem adaptacyjnej metody planowania pomiarów – dostosowania odległości pomiędzy kolejnymi profilami pomiarowymi względem głębokości akwenu i uzyskiwanemu pasmu pokrycia – tak aby otrzymać 100% pokrycie dna i pozyskać wysokogęstościową informację batymetryczną.

Problematyka wykorzystania

Podstawową trudnością w wykorzystywaniu wizualizacji 3D widoku podwodnego danego akwenu jest brak standaryzacji systemów do wyświetlania takich obrazów, co bezpośrednio przekłada się na liczbę użytkowników. Obecnie istnieją aplikacje umożliwiające prezentację graficzną akwenów w postaci trójwymiarowej, np.: Marine Navigator, Marine GIS (rys. 6) czy Olex 3D Charts Systems, jednakże systemy te nie są zestandaryzowane, a ich zastosowanie kończy się głównie na wykorzystywaniu przez rybaków.

Kolejną trudnością, jest aktualność danych. Aby podwodna część akwenu mogła stanowić jedno z podstawowych narzędzi stosowanych przy wykonywaniu precyzyjnych manewrów jednostek pływających, dane z których powstaje wizualizacja, musiałyby być aktualizowane z częstotliwością równą natężeniu ruchu na danym akwenu/przy danym nabrzeżu. Ruch śruby statkowej powoduje zwiększenie przepływu wody przy dnie, co bezpośrednio przekłada się na przemieszczanie się osadów i materiałów dennych, co z kolei wpływa na zmianę głębokości. Potrzeba generowania nowej informacji 2/3D zachodziłaby wówczas za



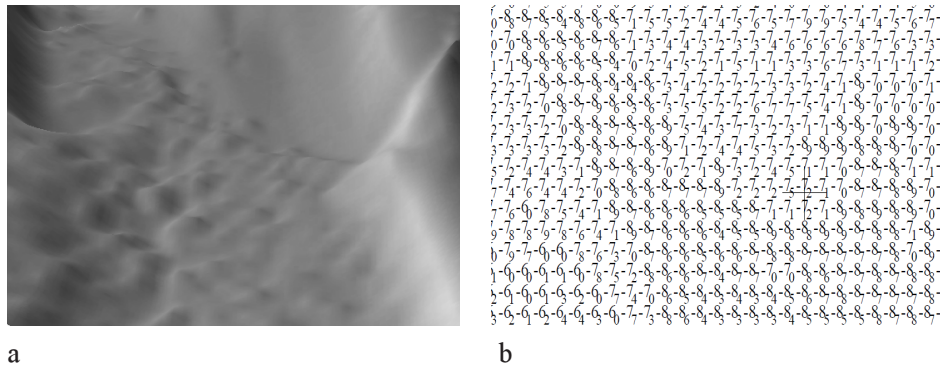
Rys. 6. Mapa nawigacyjna 3D w aplikacji MarineGIS (Goralski, Gold, 2007)

każdym razem, gdy przy danym nabrzeżu cumowałaby jednostka mogąca znacznie zmienić charakterystykę głębokościową, co – przy założeniu, że widok podwodnej części akwenu w trójwymiarze przekładałby się bezpośrednio na wielkość wprowadzanych do portu jednostek – należałoby wykonywać stosunkowo często. O ile wykonanie takiej wizualizacji nie byłoby czasochłonne – przy obecnych technologiach pomiar batymetrii i opracowanie danych zajęłoby kilka godzin, to koszty aktualizacji znacznie wzrastają. Ponadto należy również uwzględnić sezonową zmienność danych batymetrycznych, szczególnie w przypadku portów morsko-rzecznych. Mając na uwadze porty rzeczne dochodzą jeszcze zmiany stanów wody. Różnice rzędu kilku centymetrów potrafią być generowane w ciągu kilku godzin – kilka centymetrów mniej wody jest wprost proporcjonalne do kilku centymetrów mniej w zanurzeniu jednostki, co przekłada się na tonaż ładunku. W związku z tym wizualizacja aktualna na dzień sporządzenia, może być zupełnie nieprzydatna dnia następnego. Innym dość istotnym czynnikiem jest sam użytkownik. Źle dobrana, do potencjału interpretacyjnego danego człowieka, paleta barw może stanowić niebezpieczeństwo wynikające ze złej oceny charakterystyki głębokościowej akwenu. Duże znaczenie stanowi również aplikacja umożliwiająca wyświetlanie obrazów 2/3D. Nieznajomość oprogramowania, zbyt duża liczba różnych funkcji, brak intuicyjności interfejsu może skutecznie zniechęcić potencjalnego użytkownika systemu. Jednakże mając na uwadze postęp technologiczny, rozwój technik pomiarowych oraz przede wszystkim skuteczny wzrost bezpieczeństwa żeglugi, wizualizacja 2/3D stanowi doskonałe narzędzie wspomagające procesy nawigacyjne.

Możliwości/tendencje wykorzystania

Wizualizacja 3D widoku podwodnego stanowi doskonałe źródło informacji o charakterystyce dna akwenu, co generuje większe możliwości manewrowe i wpływa bezpośrednio na poprawność podejmowanych decyzji w trakcie cumowania. Informacja tylko o rozkładzie głębokości na trudnych pod względem nawigacyjnym akwenach staje się więc niewystarczająca. Oczywiście, za zapewnienie bezpiecznych głębokości na obszarach portowych odpowiedzialne są właściwe, dla danej administracji, służby. Jednakże aktualna informacja w postaci 3D pozwala na zwiększenie pewności i precyzji wykonywanych manewrów. Znajomość właściwości akwenu i parametrów jednostki nie zawsze jest wystarczająca, szczególnie jeśli chodzi o przybywanie na dany obszar po raz pierwszy. Wiedza teoretyczna, jaką kapitan danej jednostki powinien posiadać zanim wejdzie do nieznanego mu, pod względem nawigacyjnym, portu może być niewystarczająca. Możliwość wyświetlenia informacji o rozkładzie głębokości w postaci 3D znacznie wyraźniej przemówi do wyobraźni niż informacja „płaska”, prezentowana za pomocą wartości liczbowych (rys. 7).

Ponadto wizualizacja 3D widoku podwodnego obszaru całego portu może stanowić doskonałe narzędzie dla poszerzenia możliwości przeladunkowych. Precyzyjne zobrazowanie w trójwymiarze koryta rzeki łączącej otwarte morze z portem czy samych basenów portowych pozwala na bezpieczne wprowadzanie statków o maksymalnych dopuszczalnych wymiarach. Przybijanie większych jednostek generuje większy dochód, nie tylko przez dostarczenie znacznej liczby ładunków, ale również przez rozwój możliwości nawigacyjnych danego portu. Przykładowo wizualizacja 2/3D obrotnicy zmniejszy ryzyko przekroczenia jej granic i pozwoli na wykonanie bezpiecznego manewru obrotu. Ponadto widok podwodny akwenu ułatwi służbom hydrograficznym i innym jednostkom utrzymania portu wykonywa-



Rys. 7. Fragment akwenu przy nabrzeżu Holenderskim, port Szczecin: a – prezentacja 3D, b – prezentacja w postaci tradycyjnej informacji batymetrycznej

nie swoich prac statutowych. Administracja portu z łatwością będzie w stanie określić niezgodności w zachowaniu głębokości tranzytowej. Służby hydrotechniczne na podstawie aktualnej wizualizacji 3D będą mogły określić stan podwodnych części budowli oraz czy filary, na których są posadowione, nie ulegają procesowi podmywania, będącego skutkiem przepływów wody wywołanych ruchem statków na akwenu. Również jednostki żeglugi przyjemnościowej czy turystycznej zachowują większe bezpieczeństwo żeglugi. Często bowiem jednostki takie nie są wyposażone w żadne urządzenia nawigacyjne ani mapy akwenu. Wizualizacja 3D mogłaby stanowić jeden z wielu czynników usprawniających i zwiększających bezpieczeństwo żeglugi takich jednostek – nawigator miałby wówczas pewność jakie głębokości spotka kadłub jego jednostki wychodząc poza wyznaczony tor ruchu. Obecnie, w niestandardyzowanych systemach map elektronicznych, trójwymiarowa prezentacja graficzna części podwodnej akwenu, wykorzystywana jest przez statki poławiające do potrzeb wizualizacji położenia trału.

Podsumowanie

Bezspornie, zobrazowania 3D stanowią o przyszłości w rozwoju wszelkich dziedzin życia i gospodarki. Powszechna komputeryzacja, wzrost zapotrzebowania na coraz doskonalsze systemy wzmagające bezpieczeństwo nawigacji, natężenie ruchu morskiego oraz przepływu towarów drogami wodnymi zwiększa konieczność generowania produktów mapowych zbliżonych jak najbardziej do warunków rzeczywistych. Precyzyjne, wysokogęstościowe elektroniczne mapy portowe czy batymetryczne, tzw. PortENC lub BatyENC, tworzone wg standardu IHO S-57 i S-100, na dzień dzisiejszy stanowią podstawę bezpiecznego wykonywania manewrów w portach. Możliwość wyświetlania tych informacji w trójwymiarze doskonale wpłynie na trafność wydawanych, podczas cumowania, poleceń oraz na wzrost samoświadomości kierującego jednostką. Ponadto, wysokogęstościowa mapa elektroniczna wyświetlana w postaci 3D stanowi idealne rozwiązanie dla osób po raz pierwszy przybywających na trudny pod względem nawigacyjnym akwen. Zobrazowanie charakterystyki głębokościowej w trójwymiarze bardziej przemówi do kierującego statkiem niż podane, w postaci cyfr na mapie, wskazania głębokości.

Literatura

- Beczek D., Grządziel A., Banaszak M., Kłosiński A., Olejnik V., 2006: Badanie wraku lotniskowca „Graf Zeppelin” przy użyciu współczesnych hydroakustycznych i wizyjnych środków hydrograficznych. Proceedings of the XV-th International Scientific and Technical Conference, Gdynia.
- Blacquiere G., Van Woerden K., 1998: Multibeam echosounding, beamforming vs. interferometry. Proceedings. Oceanology International.
- Gold C.M., Chan M., Dzieszko M., Goralski R.I., 2004: 3D geographic visualization: the Marine GIS. [In:] Developments in Spatial Data Handling, Berlin: Springer: Fisher, P., 17-28.
- Goralski R.I., Gold C.M., 2007a: The Development of a Dynamic GIS for Maritime Navigation Safety. The 5th ISPRS Workshop on DMGISs, China.
- Goralski R.I., Gold C.M., 2007b: Marine GIS: 3D Graphics Applied to Maritime Safety. GISRUK Conference, Ireland.
- de Moustier C., Matusmoto H., 1993: Seafloor acoustic remote sensing with multibeam echosounders and bathymetric sidescan sonar systems. *Marine Geophysical Researches*, v. 15, 27-42.
- S-44 IHO Standard for hydrographic surveys, 5th edition, luty 2008, http://www.iho-ohi.net/iho_pubs/standard/S-44_5E.pdf

Abstract

Two and three dimensional underwater visualization is an excellent tool to perform precise vessel maneuvering operations such as mooring, anchoring and execution of turns. In the future, such a visualization may allow conducting safe navigation of vessels with maximum drafts admitted in given inland waters. The combination of 2 and 3D information from a certain seabed area makes maneuvering procedures much easier, especially for people first entering the water area, the services involved in maintenance of hydraulic engineering structures and the companies involved in maintaining the depth at a given level. Detailed seabed information may constitute grounds for construction of photo-realistic underwater maps, including port areas. Another aspect of the use of the bathymetric information is production of precise electronic maps of water bodies. 2/3D underwater visualization thus seems to be important in the process of navigation in restricted waters and in inland navigation due to low depth and proximity to the shore.

The emergence of new opportunities in geodata acquisition perfectly facilitates precise visualization. New hydrographic data acquisition systems deserve to be mentioned here, such as interferometric bathymetric systems or multi-beam echosounders. Also high-frequency scanning sonars are now used for checking cleanliness of the sea bottom.

Interferometric systems enable bottom mapping with accuracy exceeding the standards imposed by the International Hydrographic Organization (IHO S-44). Phase measurement technology used in sonar system provides bathymetric data coverage to approximately 12 times the depth of the basin, giving a great performance of hydrographic surveys. The same area can be mapped up to 40% faster than using traditional echosounders. Ultra high frequency sonars (of the order of 600/1600kHz) allow to obtain images with extremely high resolution, allowing to define very small objects posing a potential hazard. Bathymetric information completed with sonar scans and supplemented with the necessary navigation, topographic and hydrometeorological data, add up to a common denominator which is precise visualization of the underwater view of the selected basin.

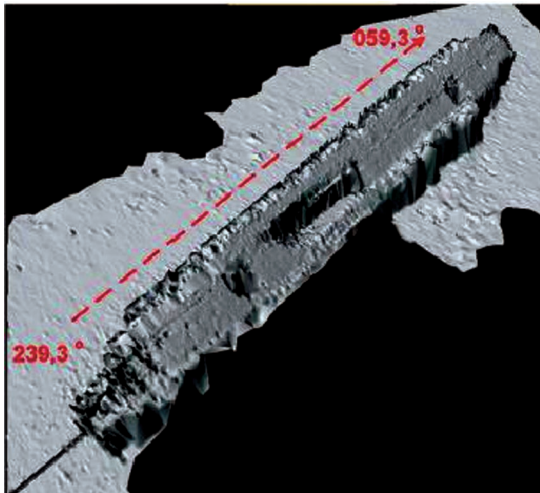
The main problem implementation of precise visualization is quick ageing of data. Bathymetric data in closed waters, such as port areas and on rivers outdates already during the measurements, primarily due to changes in water level. A few centimeter fluctuations can be noted during one day. These centimeters may therefore be decisive in conducting safe navigation, particularly for vessels with a maximum allowable draft or direct effect on the tonnage of cargo carried by water. Another factor influencing precision of the 2/3D underwater image may be the movement of vessels. Currents and waves produced by traffic can directly affect the structure and arrangement of the sediment on the

sea bottom. These factors have direct impact on the accuracy and timeliness of the visualization. Another extremely important issue is the lack of standardization of systems capable of displaying information in three dimensions.

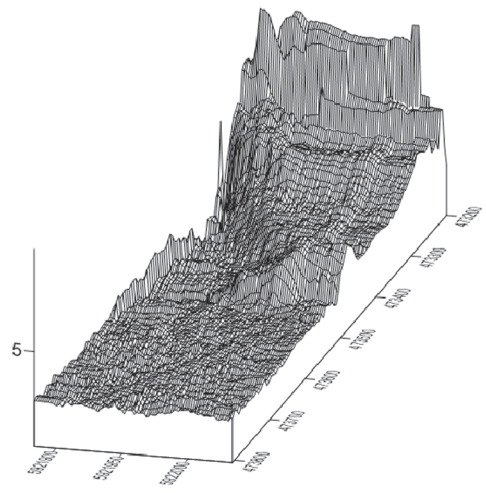
In non-standardized systems, electronic map presentation focuses on three-dimensional relief of the seabed. This option is available in packages for commercial and fishing vessels. In the first solution, it is rather a complement of traditional bathymetric information, while the second is used in fishing for visualization and classification of the position of the trawl. The use of 2/3D view for entering the port by a vessel with a maximum allowable draft and then performing precision maneuvers could underpin the development of transport and trade in relatively shallow ports.

prof. dr hab. inż. Andrzej Stateczny
a.stateczny@am.szczecin.pl

mgr inż. Izabela Bodus-Olkowska
i.olkowska@am.szczecin.pl



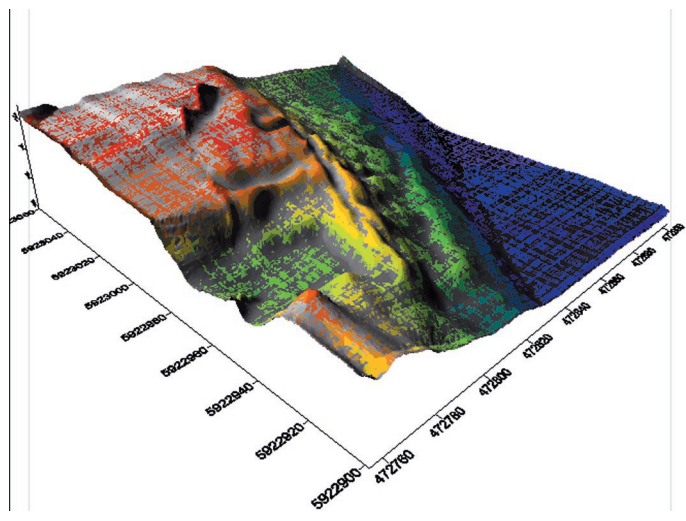
a



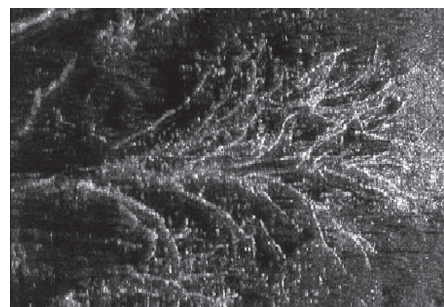
b

Rys. 1. a – wrak statku pomierzony echosondą jednowiązkową (Beczek i in., 2006),
b – mapa dna pozyskana za pomocą sonaru interferometrycznego

Rys. 2. Porównanie siatek kwadratów: kolor 1 x 1 m, szary 0,5 x 0,5 m



a

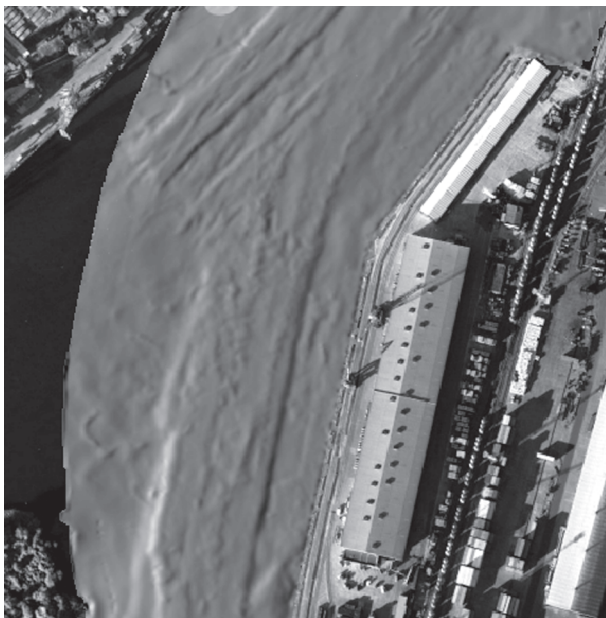


b

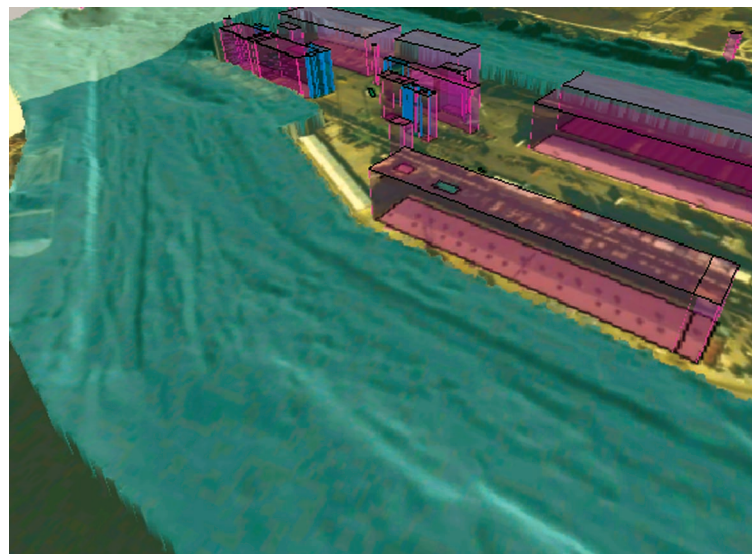
Rys. 3. Przykładowy obraz z sonaru EdgeTech4125 600/1600 kHz: a – łódka, b – drzewo



Rys. 4. Skan stanu nabrzeża Drab I w porcie Szczecin; sonar MS1000 675kHz



a



b

Rys. 5. Wizualizacja 3D widoku podwodnego – Port Szczecin, nabrzeża Belgijskie i Holenderskie