

**METODA 3D DOUBLE BUFFERING W PROCESIE
BUDOWY HYDROGRAFICZNEGO
PLANSZETU SPRAWOZDAWCZEGO
Z WYKORZYSTANIEM GEODANYCH
Z ECHOSONDY INTERFEROMETRYCZNEJ***

3D DOUBLE BUFFERING METHOD IN THE PROCESS
OF CONSTRUCTION OF A HYDROGRAPHIC REPORTING
SITE PLANE USING GEODATA
OBTAINED BY SWATH SOUNDER

Marta Włodarczyk-Sielicka

Katedra Geoinformatyki, Wydział Nawigacyjny, Akademia Morska w Szczecinie

Słowa kluczowe: przetwarzanie geodanych, hydrografia, echosonda wielowiązkowa
Keywords: geodata processing, hydrography, multibeam sonar

Wprowadzenie

Głównym elementem mającym znaczny wpływ na bezpieczeństwo nawigacji jest informacja o głębokości na danym akwenie. Poprawna akwizycja, przygotowanie oraz prezentacja danych batymetrycznych spoczywa na hydrografii. Wykorzystanie echosondy wielowiązkowej jest obecnie jedną z najbardziej wydajnych i najdokładniejszych metod pomiaru głębokości. Pozwala ona uzyskać bardzo duży zbiór punktów sondażowych w stosunkowo krótkim czasie. Ostateczny rozkład punktów zależy od ukształtowania dna, dokładności sondażu oraz od parametrów danej echosondy np. liczby czy kąta padania wiązek, częstotliwości pomiaru. Akwizycja danych batymetrycznych, bez względu na rodzaj echosondy, obarczona jest pewnymi błędami. Wymienić należy cztery główne źródła błędów pomiaru wynikające m.in. z: nachylenia dna, ruchu statku na fali, kształtu odbieranego impulsu oraz niedokładności pomiaru prędkości rozchodzenia się dźwięku w wodzie. Dane uzyskane za pomocą echosondy wielowiązkowej charakteryzują się nieregularnym rozkładem przestrzennym. Opracowanie danych batymetrycznych realizowane jest w kilku etapach.

*Projekt sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki.

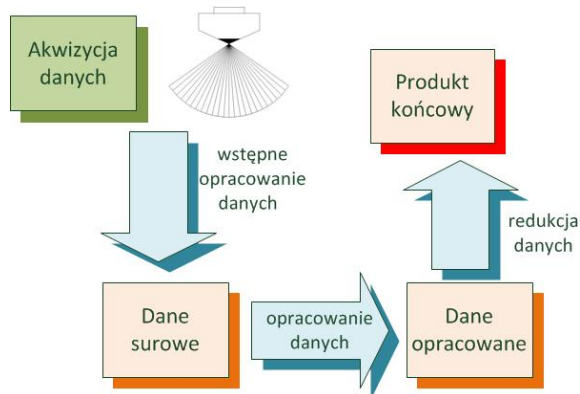
Wstępnie uwzględniane są wszystkie wartości poprawek wpływających na dokładność pomiaru, tj.: stan wody, zanurzenie przetworników, średnia wartość prędkości rozchodzenia się dźwięku w wodzie czy offsety urządzeń pomiarowych (IHO, 2010). Następnie operator systemu dokonuje filtracji zgrubej, korzystając z predefiniowanych filtrów do opracowania danych. Filtracja ta jest procesem ściśle zależnym od danej sesji pomiarowej (Bojarowski i in., 2002). Wartości przypisane filtrom muszą być nanoszone każdorazowo z rozważą, po uprzednim przeanalizowaniu wszystkich warunków jakie wystąpiły w czasie pomiarów oraz oczekiwanych rezultatów. Po wstępnym opracowaniu dane są poddawane opracowaniu właściwemu, które ma na celu eliminację danych nadmiarowych oraz różnego rodzaju zakłóceń.

Pomiary batymetryczne są podstawowym typem prac hydrograficznych, a ich istotą jest akwizycja wiarygodnych danych dotyczących głębokości na danym akwenie. Planszet sprawozdawczy jest jednym z końcowych produktów hydrograficznych. Wszystkie współczesne produkty hydrograficzne powinny spełniać wymagania podstawowej żeglugi morskiej oraz bezpieczeństwa nawigacji. Głównym standardem obowiązującym w hydrografii jest S-44 (*Standards for Hydrographic Survey No. 44*) wydany przez IHO (*International Hydrographic Organization*). S-44 obowiązuje wszystkie kraje członkowskie IHO na całym świecie. Stanowi on zestaw minimalnych wymagań, które powinny być spełnione podczas prowadzenia prac hydrograficznych, głównie dla celów kartograficznych oraz zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi. Dokładność danych uzależniona jest od przynależności do kategorii akwenu nawigacyjnego. Na potrzeby przedstawianej w artykule pracy przyjęto wytyczne dla kategorii specjalnej, która jest najbardziej rygorystyczna (IHO, 2008).

Istotnym zadaniem hydrografa jest przygotowanie planszetu w taki sposób, aby był on czytelny oraz aby dane na nim przedstawione spełniały odpowiednie wytyczne (Kierzkowski, 1985). Ten etap pracy hydrografa jest procesem żmudnym i długotrwałym. Procedurą zmniejszenia wielkości zbioru danych w celu ich łatwiejszej oraz efektywniejszej analizy jest redukcja danych. Istnieje kilka sposobów na dokonanie redukcji. Może ona polegać między innymi na wykorzystaniu zaawansowanych metod statystycznych, które umożliwiają zmniejszenie dużego zbioru danych do danych podstawowych wyjaśniających najważniejsze zależności pomiędzy analizowanymi przypadkami i wartościami zmiennych. Innym sposobem redukcji danych jest przekształcenie dużej liczby wartości zmiennych tak, żeby można je było przedstawić za pomocą jednej, wspólnej dla wszystkich, wartości. Kolejny sposób redukcji danych, to zmniejszenie dużego zbioru o określoną liczbę przypadków (Bottelier i

in., 2000; Iwaniak i in., 1998). Istotnym czynnikiem mającym wpływ na dokładność danych wynikowych jest prawidłowe ustalenie kryteriów przetwarzania oraz odpowiedni dobór parametrów (Chrobak i in., 2007). Oprócz dokładności i wiarygodności otrzymywanych wyników, istotna jest także dynamika przetwarzania informacji oraz możliwość szybkich analiz (Bielecka, 2006).

Rysunek 1 przedstawia ogólny schemat przetwarzania danych batymetrycznych.



Rys. 1

Dane batymetryczne uzyskane echosondą interferometryczną

Echosonda interferometryczna GeoSwath używa innej techniki formowania wiązki akustycznej niż jest to realizowane w tradycyjnych systemach wielowiązkowych. Z uwagi na bardzo szeroki kąt pracy pozwala ona na jednoczesne zbieranie danych pionowych (tak jak typowa echosonda wielowiązkowa) oraz poziomych (jak sonar boczny). Dane o głębokości uzyskiwane są nie tylko na podstawie pomiaru czasu w jakim fala hydroakustyczna odbita od obiektu powróci jako echo do przetwornika, lecz także na podstawie pomiaru różnicy faz fali hydroakustycznej docierającej do piezoelektrycznych czujników zamontowanych w przetworniku. Znając położenie i orientację przetwornika oraz czas podróży sygnału i różnicę faz, istnieje możliwość wyznaczenia położenia bardzo dużej liczby punktów w szerokim zakresie kątowym. Głowica echosondy interferometrycznej składa się z dwóch części skierowanych w przeciwnych kierunkach, zaopatrzonych w element nadawczy i kilka piezoelektrycznych sensorów odbiorczych umieszczonych wyżej. Obie części głowicy ustawione są pod kątem 30° do płaszczyzny poziomej tworząc literę V (GeoSwath, 2009; Llort-Pujoli, 2012).

W artykule wykorzystano dane batymetryczne zebrane w rejonie Portu Szczecin w okolicach Babiny, gdzie charakterystyka dna jest zróżnicowana pod względem głębokości. Do akwizycji danych wykorzystano pływające laboratorium pomiarowe Hydrograf XXI, na którym zainstalowana jest echosonda GeoSwath Plus 250 kHz, wraz z sensorami uzupełniającymi informację batymetryczną, m.in. GPS/RTK, kompasem satelitarnym oraz czujnikiem ruchu. Profile pomiarowe prowadzono w taki sposób, aby zachować 100% pokrycie pomierzonego akwenu, zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w S-44 klasie specjalnej. Dane XYZ wykorzystane w badaniach zostały opracowane w oprogramowaniu GS+ oraz przygotowane w formacie .txt. Wszystkie dane batymetryczne zebrano oraz opracowano w układzie UTM (ang. *Universal Transverse Mercator*).

Zastosowanie metody 3D Double Buffering w procesie budowy planszetu sprawozdawczego

Do badań nad metodą 3D Double Buffering wykorzystano oprogramowanie firmy Caris, w którego skład wchodzi pakiet programów umożliwiających pracę z danymi – od momentu ich akwizycji, aż po opracowanie planszetu sprawozdawczego. Autorka wykorzystowała jedynie moduł oprogramowania o nazwie BathyDataBASE, w którym do generalizacji danych wykorzystano metodę 3D Double Buffering. Przygotowane do badań dane XYZ z rejonu kanału Babina, z powodu swojej dużej objętości, zostały przez autorkę „przycięte” do mniejszego obszaru. Dane batymetryczne wzięte pod uwagę przy analizie wyżej wymienionej metody zostały przedstawione na rysunku 5. Dane są zbiorem nieregularnym i obejmują 22 116 punktów z określoną pozycją oraz głębokością. Badane głębokości mieszczą się w zakresie od 0 do 8 metrów.

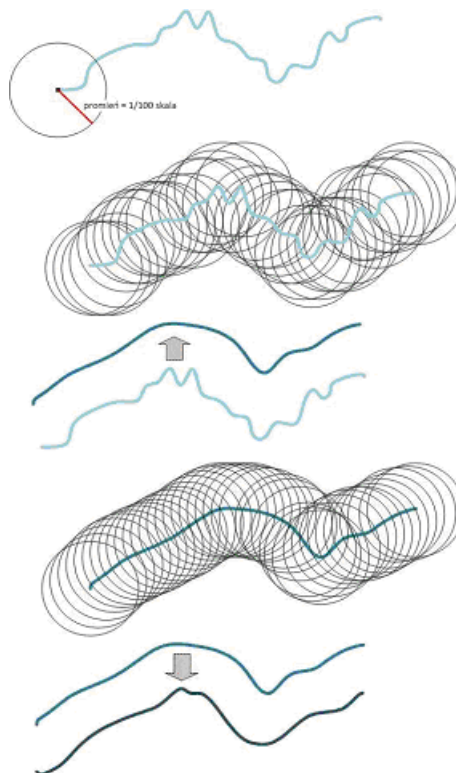
Metodyka badań

Pierwszym etapem badań było stworzenie siatki punktów pomiarowych, zwanej dalej Grid. W trakcie importu badanych danych XYZ, oprogramowanie Caris posiada możliwość wyboru metody jaką chcemy wykorzystać przy tworzeniu Grid:

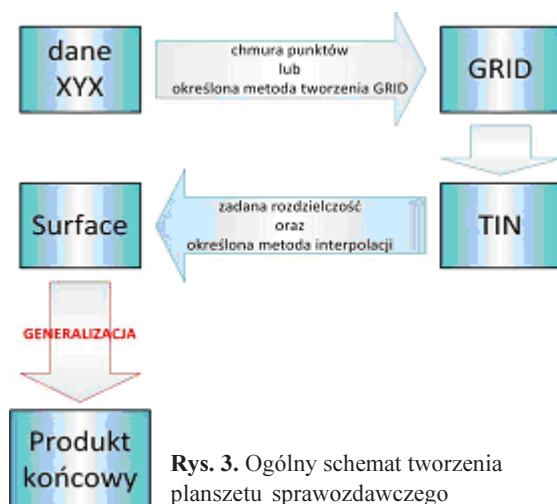
- średnia ważona (ang. *Basic Weighted Mean*),
- średnia ważona z wykorzystaniem wartości TPU (ang. *TPU Weighted Mean*),
- najmniejsza głębokość (ang. *Shoalest Depth*),
- najmniejsza głębokość z pozycją rzeczywistą (ang. *Shoalest Depth True Position*).

Istnieje także możliwość wczytania danych wejściowych do oprogramowania jako chmurę punktów (ang. *point cloud*).

Kolejnym etapem opracowania danych jest stworzenie siatki TIN (ang. *Triangular Irregular Network*). Jest to konieczne, aby uzyskać żadaną powierzchnię, która następnie będzie podlegała badanej generalizacji. TIN jest nieregularną siatką trójkątów, do której stworzenia wykorzystywana była triangulacja Delaunay'a. Trójkąty tworzone są w taki sposób, aby żaden



Rys. 2. Działanie metody 3D Double Buffering



Rys. 3. Ogólny schemat tworzenia planszetu sprawozdawczego

z punktów nie należących do niego nie był położony wewnątrz okręgu opisanego na trójkącie (Bielecka, 2006; Browns i in., 2001). Następnym krokiem jest utworzenie powierzchni wynikowej, która będzie podlegała wygładzaniu z zastosowaniem metody 3D Double Buffering. W trakcie tworzenia powierzchni wynikowej należy wybrać rozdzielczość oraz następujące metody interpolacji: liniowa oraz naturalnego sąsiada.

Analizowany w artykule proces wygładzania jest jak „toczenie piłki” po danej powierzchni w odstępach określonych węzłami. Posiadając powierzchnię wejściową należy określić skalę planszetu jaki chcemy uzyskać. Węzły są środ-

kami okręgów, których promień stanowi jedną setną określonej wcześniej skali. Poprzez buforowanie otrzymuje się powierzchnię, która jest następnie buforowana ponownie, tym razem w odwrotnym kierunku. Końcowa powierzchnia jest powierzchnią zgeneralizowaną, wykorzystaną do stworzenia hydrograficznego planszetu sprawozdawczego. Wszystkie etapy działania badanej metody zostały przedstawione na rysunku 2.

Schemat zaprezentowany na rysunku 3 przedstawia wszystkie etapy tworzenia hydrograficznego planszetu sprawozdawczego z wykorzystaniem modułu BathyDataBASE oprogramowania Caris.

Procedura testowa

W pierwszym etapie opracowania danych, dane wejściowe XYZ zaimportowano do oprogramowania Caris jako chmurę punktów. Tematem publikacji jest zbadanie metody generalizacji, więc autorka chciała uniknąć niepotrzebnej interpolacji danych. Następnie stworzono siatkę TIN. Na podstawie rysunku 7, przedstawiającego wycinek siatki TIN, można stwierdzić, że zgodnie z założeniem dane wejściowe są zbiorem nieregularnym.

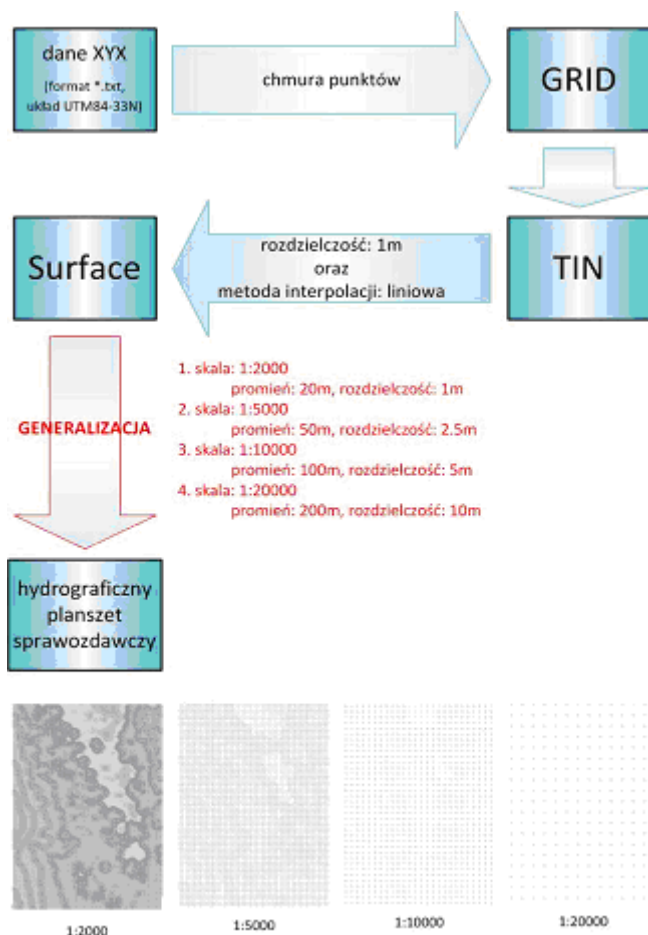
W trakcie tworzenia powierzchni wynikowej, autorka wybrała metodę interpolacji liniowej oraz rozdzielczość równą 1 m. Rysunek 6 przedstawia otrzymaną powierzchnię, która następnie została użyta do badań.

Kolejnym etapem badań był proces wygładzania powierzchni wynikowej przy pomocy metody 3D Double Buffering. Na tym etapie określona została skala końcowego produktu hydrograficznego oraz – zgodnie z zasadą działania metody – promień okręgu oraz rozdzielczość wynikowa. Dla planszetów sprawozdawczych przyjęto następujące skale i odpowiadające im parametry:

- 1:2000 – promień 20 m, rozdzielczość 1m,
- 1:5000 – promień 50 m, rozdzielczość 2,5m,
- 1:10 000 – promień 100 m, rozdzielczość 5m,
- 1:20 000 – promień 200 m, rozdzielczość: 10m.

Na potrzeby badań przyjęto rozdzielczość domyślną. Należy pamiętać, że w trakcie wykorzystania metody 3D Double Buffering założony promień musi być mniejszy niż $250 \times$ rozdzielczość wejściowa, czyli w przypadku badanej powierzchni mniejszy niż 250 m. Po otrzymaniu wynikowych powierzchni uzyskanych w trakcie badanej generalizacji, autorka przystąpiła do tworzenia planszetów sprawozdawczych. Do ich przygotowania wykorzystano oprogramowanie Caris Plot Composer 5.1. Rysunek 4 przedstawia szczegółowy schemat przygotowania poszczególnych produktów końcowych.

W celu obliczenia odpowiednich statystyk wszystkie zgeneralizowane powierzchnie eksportowano do formatu ASCII. Dla powierzchni eksportowano dodatkowy atrybut wskazujący, czy dany punkt jest prawdziwy (wartość 0) czy jest on wartością zgeneralizowaną (wartość 1).



Rys. 4. Schemat procedury testowej

Wyniki

Po zastosowaniu metody 3D Double Buffering otrzymano cztery wygładzone powierzchnie, które następnie zostały wykorzystane do stworzenia hydrograficznych planszetów sprawozdawczych. Rysunek 8 przedstawia tabelę z wynikami otrzymanych powierzchni. Na podstawie tej tabeli można stwierdzić, że wyniki wygładzania metodą 3D Double Buffering są w dużej mierze zależne od wybranej skali wynikowej. Im mniejsza skala, a co za tym idzie większy promień okręgu wykorzystanego w trakcie buforowania, tym powierzchnia zostaje bardziej wygładzona, a liczba próbek, czyli węzłów siatki, zmniejsza się. Jest to spowodowane przyjęciem rozdzielczości domyślnej. Generalizacja danych ma także miejsce w momencie gdy ustawiona została rozdzielczość równa 1m, czyli taka sama jak rozdzielczość powierzchni wejściowej. Liczba próbek uzyskanej powierzchni była równa liczbie próbek dla powierzchni wejściowej, ale wartości w węzłach (głębokości) zostały wygładzone zgodnie z przyjętą skalą. Im mniejsza skala tym wartość średnia głębokości zmniejsza się, a odchylenie standardowe rośnie.

Po analizie działania zastosowanej metody można stwierdzić, że generalizacja rozpoczyna się od lewego dolnego rogu w prawą stronę. Jest to istotne, ponieważ wygładzone wartości zależne są od wartości głębokości jaki posiada węzeł początkowy. Ponadto należy zwrócić uwagę na fakt, że oprogramowanie Caris nie zachowuje w pełni danych źródłowych, ponieważ w jednym z etapów wykorzystuje określoną metodę interpolacji.

Podsumowanie

Wyniki wygładzania badanej powierzchni metodą 3D Double Buffering w oprogramowaniu Caris są uzależnione od wybranej skali wynikowej. Proces ten można porównać do „toczenia piłki” po powierzchni w odstępach określonych węzłami siatki. Posiadając powierzchnię wejściową określa się skalę wynikową planszetu, natomiast węzły są środkami okręgów, których promień stanowi jedną setną określonej wcześniej skali. Poprzez buforowanie otrzymuje się powierzchnię, która jest następnie buforowana po raz drugi, tym razem w odwrotnym kierunku. Końcowa powierzchnia jest powierzchnią zgeneralizowaną. Po analizie działania metody można stwierdzić, że generalizacja rozpoczyna się od lewego dolnego rogu w prawą stronę. Im mniejsza skala, tym powierzchnia zostaje bardziej wygładzona, a liczba próbek zmniejsza się. Jest to spowodowane przyjęciem rozdzielczości domyślnej. Rozdzielczość domyślną można zwiększyć – wówczas węzły nie będą tak rozproszone, jednak wygładzenie powierzchni będzie miało miejsce. Należy mieć na uwadze fakt, że jeśli zostanie przyjęta zbyt mała rozdzielczość, to znacząca liczba próbek zostanie usunięta. Jest to widoczne na hydrograficznych planszetach sprawozdawczych uzyskanych w trakcie badań. Istotne jest także to, że w trakcie wykorzystania metody 3D Double Buffering promień musi być mniejszy niż $250 \times$ rozdzielczość wejściowa. Należy o tym pamiętać już w trakcie tworzenia powierzchni, która następnie będzie podlegać generalizacji. W trakcie generalizacji nie można także przyjąć rozdzielczości mniejszej niż rozdzielczość powierzchni wejściowej. Im mniejsza przyjęta skala tym wartość średnia głębokości zmniejsza się, co ma znaczenie w prowadzeniu bezpiecznej nawigacji na danym akwenu. W jednym z etapów tworzenia hydrograficznego planszetu sprawozdawczego wykorzystuje się określoną metodę interpolacji, co wskazuje na to, iż oprogramowanie Caris BathDataBASE nie zachowuje w pełni danych źródłowych.

Literatura

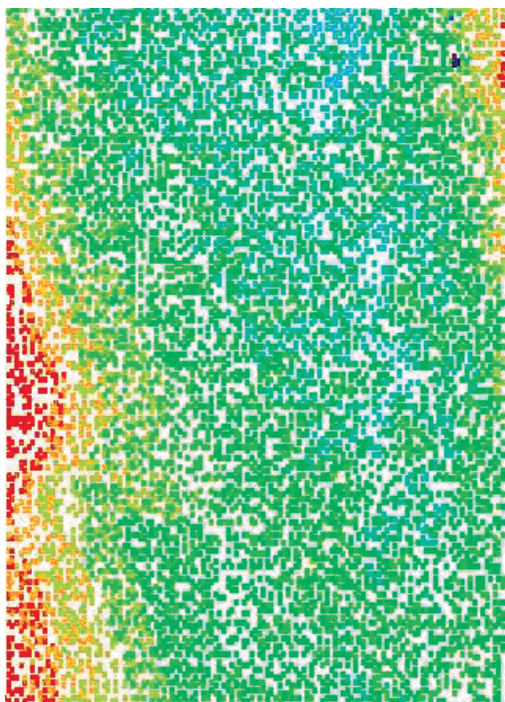
- Bielecka E., 2006: Systemy informacji geograficznej. Teoria i zastosowania. Wydawnictwo PJWSTK, Warszawa.
- Bojarowski K., Gościewski D., Wolak B., 2002: Technologia przetwarzania wyników pomiaru ukształtowania dna rejestrowanych przez urządzenia o działaniu ciągłym. Zeszyty Naukowe Nr 65 WSM, Szczecin.
- Bottelier P., Haagmans R., Kinneking N., 2000: Fast Reduction of High Density Multibeam Echosounder Data for Near Real-Time Applications. *The Hydrographic Journal* No 98.
- Brouns G., Wulf A., Constales D., 2001: Multibeam data processing: adding and deleting vertices in a Delaunay triangulation. *The Hydrographic Journal* No 101.
- Chrobak T., Keller S., Kozioł K., Szostak M., Żukowska M., 2007: Podstawy Cyfrowej Generalizacji Kartograficznej. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- GeoSwath, 2009, Plus Operational Manual, GeoAcoustics.
- IHO, April 2010, Manual on Hydrography (C-13), 1st Edition.
- IHO, February 2008, Standards for Hydrographic Surveys (S-44), 5th Edition.
- Iwaniak A., Paluszyński W., Żyszkowska W., 1998: Generalizacja map numerycznych – koncepcje i narzędzia. *Polski Przegląd Kartograficzny*, t. 30, nr 2 i 3, Warszawa.

- Kierzkowski W., 1985, *Pomiary morskie cz.I – Pomiary hydrograficzne*. Wyższa Szkoła Marynarki Wojennej, Gdynia.
- Llort-Pujoli G. et al, 2012: Advanced interferometric techniques for high-resolution bathymetry, *Journal of Marine Technology Society*.
- US Army Corps of Engineers, 2004: *Engineering and Design Hydrographic Surveying*, Washington.

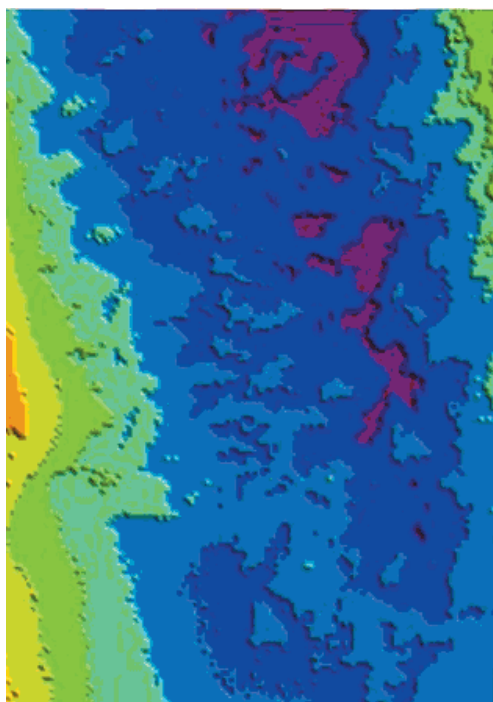
Abstract

The main element that contributes significantly to the safety of navigation is information about the depth in the given area. Appropriate collection, preparation and presentation of bathymetric data lies with the hydrograph. These tasks are executed based on modern measurement equipment. The paper uses bathymetric data collected in the vicinity of the Port of Szczecin with the use of interferometric 250 kHz sonar GeoSwath Plus installed on the floating test laboratory Hydrograf XXI. Interferometric sonar allows to collect a very large number of samples in a relatively short time. The data collected during the acquisition are subject to filtration. Despite filtration, samples constitute too large set of data. The procedure to reduce the size of the dataset is the data reduction. Bathymetric data are presented on a hydrographic reporting site plane. An important task for the hydrographer is to prepare the site plane in such a way that it is legible and the data presented therein comply with the relevant guidelines. The paper examines the capabilities of Caris software for the reduction of data. The data used in the study are an irregular set and include a set of 22116 samples with specified position and the value of depth. The first stage of the research was to create a grid of measurement points in the Caris software, from which specific TIN was created. The next step was to establish the resulting surface, which will be subject to smoothing using the 3D Double Buffering method. The data are reduced depending on the adopted scale of the reporting site plane. After applying the test method, four smooth surfaces were obtained, which were used to create a hydrographic reporting site plane.

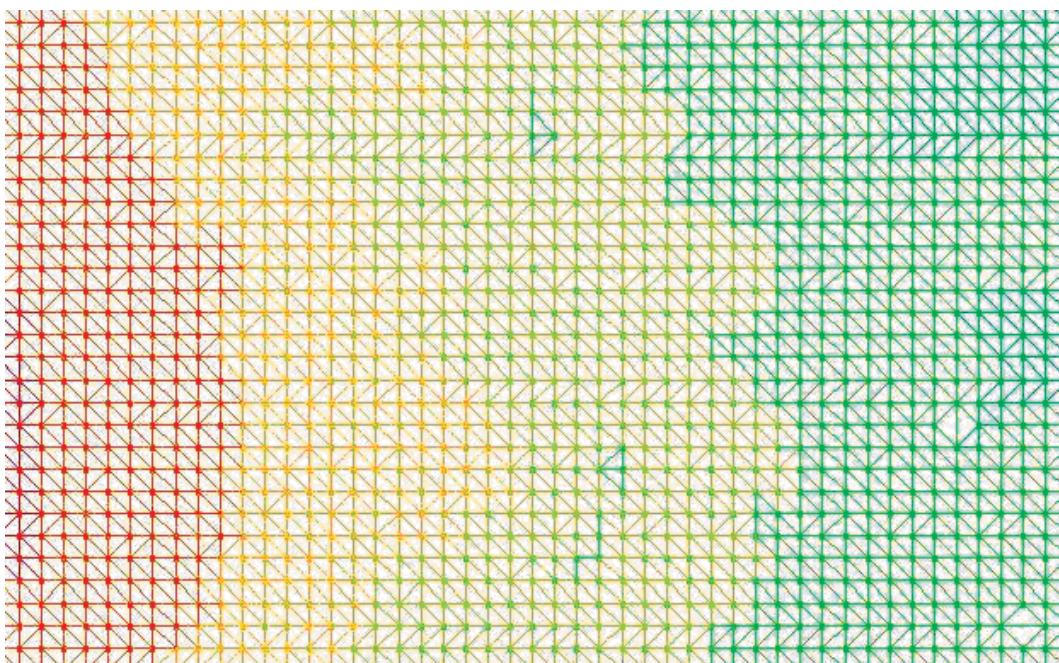
mgr inż. Marta Włodarczyk-Sielicka
m.wlodarczyk@am.szczecin.pl
tel. 91 487 71 77



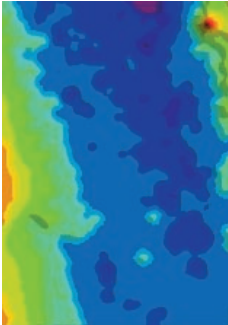
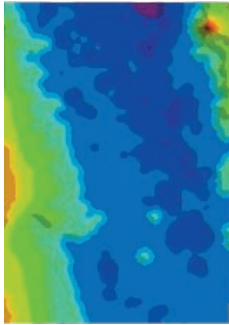
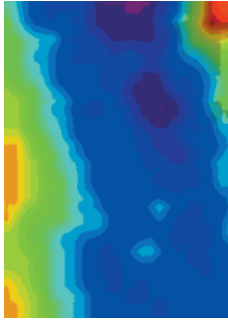
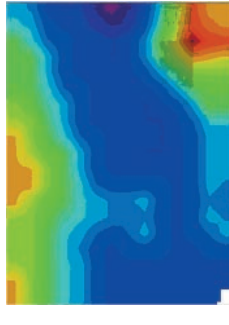
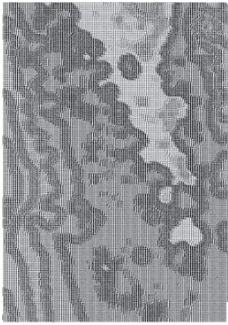
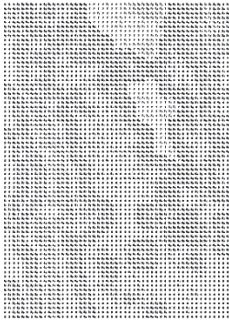
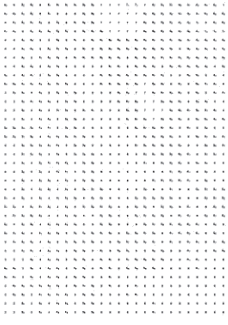
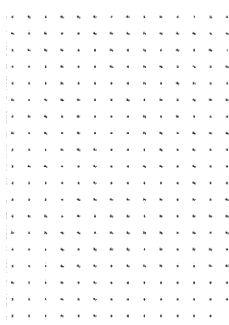
Rys. 5. Dane XYZ wykorzystane do badań



Rys. 6. Powierzchnia wykorzystana do badań



Rys. 7. Siatka TIN

Skala	1:2000	1:5000	1:10 000	1:20 000
Promień	20 m	50 m	100 m	200 m
Rozdzielczość	1 m	2,5 m	5 m	10 m
Otrzymana powierzchnia				
Liczba próbek	22 116	3621	936	265
Średnia głębokości	5,7 m	5,5 m	5,3 m	4,9 m
Odchylenie standardowe	1,2 m	1,2 m	1,3 m	1,4 m
Produkt końcowy				

Rys. 8. Tabela z wynikami porównań otrzymanych powierzchni