

**Dr inż. Wojciech Maleika**

Katedra Systemów Multimedialnych

Wydział Informatyki

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

tel. +48 91 449 55 62

tel. +48 504 050 085

e-mail: [wmaleika@wi.zut.edu.pl](mailto:wmaleika@wi.zut.edu.pl)

## Autoreferat

### 1. Imię i nazwisko: **Wojciech Maleika**

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- |      |   |
|------|---|
| 1998 | tytuł magistra inżyniera informatyki, Wydział Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej  |
| 2004 | stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie informatyka, Wydział Informatyki Politechniki Szczecińskiej; rozprawa pt. <i>Adaptacyjna kompresja danych opisujących kształt powierzchni dna morskiego</i> ; promotor prof. dr inż. Jerzy Soldek, Politechnika Szczecińska |

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

- |                 |  |
|-----------------|--|
| od 1997 do 1998 | asystent-stażysta (student) w Instytucie Informatyki Wydziału Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej                       |
| od 1998 do 1999 | asystent w Instytucie Informatyki, Wydział Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej  |
| od 1999 do 2005 | asystent w Instytucie Grafiki Komputerowej i Systemów Multimedialnych, Wydział Informatyki Politechniki Szczecińskiej            |
| od 2005 do 2009 | adiunkt w Instytucie Grafiki Komputerowej i Systemów Multimedialnych, Wydział Informatyki Politechniki Szczecińskiej             |
| od 2009 do dziś | adiunkt w Katedrze Systemów Multimedialnych, Wydział Informatyki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie |

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 ze zm.), będącego podstawą złożenia wniosku.

A) tytuł osiągnięcia naukowego

***Tworzenie cyfrowych modeli dna morskiego opartych na strukturze grid, na podstawie danych pomiarowych pochodzących z echosondy wielowiązkowej***

B) osiągnięcie naukowe – jednotematyczny cykl publikacji naukowych

Jako osiągnięcie naukowe w dyscyplinie informatyka wskazuję cykl dziesięciu powiązanych tematycznie publikacji pt. *Tworzenie cyfrowych modeli dna morskiego opartych na strukturze grid, na podstawie danych pomiarowych pochodzących z echosondy wielowiązkowej*. Cykl obejmuje pięć artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych z listy JCR oraz cztery artykuły wydane w recenzowanych materiałach konferencyjnych lub czasopismach indeksowanych w bazie Web of Science. W skład cyklu publikacji wchodzi następujące prace:

1. **Maleika Wojciech [100%],**

*Kriging Method Optimization for the Process of DTM Creation Based on Huge Data Sets Obtained from MBES*, „Geosciences” 2018, vol. 8, iss. 12.  
DOI:10.3390/geosciences8120433, Published: Nov 2018.

- czasopismo indeksowane w Web of Science, 15 pkt MNiSW (artykuł w trakcie indeksacji);
- artykuł indeksowany w bazach: Web of Science (liczba cytowań 0), Scopus (liczba cytowań 0), Google Scholar (liczba cytowań 1) – artykuł w trakcie indeksacji;
- praca indywidualna, **udział 100%**;

2. **Maleika Wojciech [60%], Koziarski Michał [20%], Forczmański Paweł [20%],**

*A Multiresolution Grid Structure Applied to Seafloor Shape Modeling*”, ISPRS „International Journal of Geo-Information” 2018, vol. 7, iss. 3, article number: UNSP 119.  
DOI:10.3390/ijgi7030119, Published: MAR 2018.

- lista A, 15 pkt MNiSW; IF=1.723 (JCR 2017);
- artykuł indeksowany w bazach: JCR, Web of Science (liczba cytowań 0), Scopus (liczba cytowań 1), Google Scholar (liczba cytowań 2);
- mój udział procentowy zgodnie z oświadczeniem współautorów **wynosi 60%**;

3. **Maleika Wojciech [100%],**

*Moving average optimization in digital terrain model generation based on test multibeam echosounder data*, „Geo-Marine Letters” 2015, vol. 35, iss. 1, pp 61-68.  
<https://doi.org/10.1007/s00367-014-0389-8>, Published: FEB 2015.

- lista A, 30 pkt MNiSW; IF=1.577 (JCR 2015);
- artykuł indeksowany w bazach: JCR, Web of Science (liczba cytowań 23), Scopus (liczba cytowań 23), Google Scholar (liczba cytowań 28);
- praca indywidualna, **udział 100%**;

4. **Maleika Wojciech [80%]**, Piotr Czapiewski [20%],  
*Evaluation of KLT method for controlled lossy compression of high-resolution seabed's DTM*, „Earth Science Informatics” 2015, vol. 8, iss. 3, pp 595-607.  
<https://doi.org/10.1007/s12145-014-0191-1>, Published: SEP 2015.
  - lista A, 15 pkt MNiSW; IF=1.524 (JCR 2015);
  - artykuł indeksowany w bazach: JCR, Web of Science (liczba cytowań 3), Scopus (liczba cytowań 3), Google Scholar (liczba cytowań 3);
  - mój udział procentowy zgodnie z oświadczeniem współautora **wynosi 80%**;
  
5. **Maleika Wojciech [100%]**,  
*The influence of the grid resolution on the accuracy of the digital terrain model used in seabed modeling*, „Marine Geophysical Research” 2015, vol. 36, iss. 1, pp 35-44.  
<https://doi.org/10.1007/s11001-014-9236-6>, Published: MAR 2015.
  - lista A, 20 pkt MNiSW; IF=1.286 (JCR 2015);
  - artykuł indeksowany w bazach: JCR, Web of Science (liczba cytowań 15), Scopus (liczba cytowań 15), Google Scholar (liczba cytowań 18);
  - praca indywidualna, **udział 100%**;
  
6. **Maleika Wojciech [100%]**,  
*The influence of track configuration and multibeam echosounder parameters on the accuracy of seabed DTMs obtained in shallow water*, „Earth Science Informatics” 2013, vol. 6, iss. 2, pp 47-69.  
<https://doi.org/10.1007/s12145-013-0111-9>, Published: JUN 2013.
  - lista A, 15 pkt MNiSW; IF=0.694 (JCR 2013);
  - artykuł indeksowany w bazach: JCR, Web of Science (liczba cytowań 15), Scopus (liczba cytowań 15), Google Scholar (liczba cytowań 25);
  - praca indywidualna, **udział 100%**;
  
7. **Maleika Wojciech [100%]**,  
*Development of a Method for the Estimation of Multibeam Echosounder Measurement Accuracy*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2012, vol. 88, iss. 10B, pp 205-208, Published: 2012.
  - lista A, 15 pkt MNiSW; IF=0.244 (JCR 2011, w roku 2012 brak indeksacji);
  - artykuł indeksowany w bazach: JCR, Web of Science (liczba cytowań 9), Scopus (liczba cytowań 13), Google Scholar (liczba cytowań 18);
  - praca indywidualna, **udział 100%**;
  
8. **Maleika Wojciech [80%]**, Pałczyński Michał [10%], Frejlichowski Dariusz [10%],  
*Interpolation Methods and the Accuracy of Bathymetric Seabed Models Based on Multibeam Echosounder Data*, [in:] Pan J.S., Chen S.M., Nguyen N.T. (eds.), “Intelligent Information and Database Systems”, ACIIDS 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol. 7198, pp 466-475, Springer, Berlin, Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-28493-9\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28493-9_49), Published: 2012.
  - konferencja (seria LNCS) indeksowana w Web of Science, 15 pkt MNiSW;
  - artykuł indeksowany w bazach: Web of Science (liczba cytowań 14), Scopus (liczba cytowań 19), Google Scholar (liczba cytowań 20);
  - mój udział procentowy zgodnie z oświadczeniem współautorów **wynosi 80%**;

9. **Maleika Wojciech [80%]**, Pałczyński Michał [10%], Frejlichowski Dariusz [10%], *Effect of Density of Measurement Points Collected from a Multibeam Echosounder on the Accuracy of a Digital Terrain Model*, [in:] Pan J.S., Chen S.M., Nguyen N.T. (eds.), "Intelligent Information and Database Systems", ACIIDS 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol. 7198, Springer, Berlin, Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-28493-9\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28493-9_48), Published: 2012.
- konferencja (seria LNCS) indeksowana w Web of Science, 15 pkt MNiSW;
  - artykuł indeksowany w bazach: Web of Science (liczba cytowań 13), Scopus (liczba cytowań 12), Google Scholar (liczba cytowań 13);
  - mój udział procentowy zgodnie z oświadczeniem współautorów **wynosi 80%**;

W Tabeli 1. przedstawiłem sumarycznie wskaźniki bibliometryczne publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.

*Tabela 1. Wskaźniki bibliometryczne publikacji naukowych wchodzących w skład osiągnięcia naukowego*

<i>Nazwa wskaźnika</i>	<i>Wartość</i>
Sumaryczny IF	7,048
Sumaryczny IF (z wyłączeniem wkładu współautorów)	6,054
Liczba punktów MNiSW	155
Liczba punktów MNiSW (z wyłączeniem wkładu współautorów)	134
Liczba cytowań (WoS)	92
H index	7

C) omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

### **Wprowadzenie**

Ważną i dynamicznie rozwijającą się gałęzią współczesnej informatyki są systemy informacyjne służące do gromadzenia, przetwarzania, analizy oraz wizualizacji danych geograficznych zwane GIS (ang. *geographic information system*). Systemy te służą nie tylko do tworzenia różnorodnych map, ale także do automatyzacji lub wspomagania procesu decyzyjnego (np. o lokalizacji inwestycji). Systemy GIS znajdują powszechne zastosowanie w ewidencji różnych zasobów, a szczegółowe informacje w nich zgromadzone wykorzystują urbaniści, geodeci, konstruktorzy i planiści. Dzięki silnej integracji systemów GIS z internetem użytkownikami tych

systemów są dziś niemal wszyscy korzystający z komputerów, telefonów i innych urządzeń mobilnych.

Jedną z istotniejszych warstw danych w systemach GIS jest numeryczny model terenu (NMT). Stanowi on dyskretną (punktową) reprezentację wysokości topograficznej powierzchni terenu. W polskiej literaturze naukowej pod tą nazwą spotyka się najczęściej dwa terminy angielskie: DEM (Digital Elevation Model) oraz DTM (Digital Terrain Model). Ich polskie odpowiedniki: dla DEM – CMW (cyfrowy model wysokościowy), a dla DTM – NMT (numeryczny model terenu), są używane sporadycznie. Współcześni użytkownicy DTM stawiają duże wymagania, kładąc nacisk zarówno na jakość danych (dokładność, wiarygodność, aktualność), dynamikę ich przetwarzania i wizualizacji, jak i na możliwości analiz w czasie rzeczywistym.

W systemach komputerowych (programach GIS) najczęściej modele DTM reprezentowane są poprzez:

- regularną prostokątną siatkę punktów (*grid*),
- nieregularną siatkę trójkątów (TIN – Triangular Irregular Network).

Model *grid* wykorzystuje do reprezentacji rzeźby terenu macierz elementów (punktów). Każdy węzeł przechowuje średnią wysokość pola elementarnego, którego wymiar zależy od przyjętej rozdzielczości przestrzennej. Zaletą tego modelu jest prostota zapisu danych oraz łatwość ich przetwarzania i wizualizacji. Główną wadą modelu jest stała gęstość punktów opisujących powierzchnię, niezależna od jej lokalnego ukształtowania. W modelach TIN płaszczyzna odwzorowywana jest za pomocą sieci nieregularnych trójkątów, gdzie wierzchołki tych trójkątów to punkty z informacją o wysokości. Zaletą tego modelu jest zmienna rozdzielczość przestrzenna, ale skutkuje to zwiększeniem stopnia skomplikowania modelu i algorytmów przetwarzania. Model TIN wykorzystuje się najczęściej, gdy dane pomiarowe są mniej liczne lub ich rozkład gęstości jest nieregularny.

Ze względu na rodzaj opisywanego obszaru, DTM możemy podzielić na lądowy oraz morski. Pozyskiwanie, przedstawianie w postaci modelu oraz wizualizacja informacji o środowisku morskim (a w szczególności o ukształtowaniu dna morskiego) staje się nieodzownym elementem szeroko rozumianej problematyki zrównoważonego zarządzania zasobami w rejonach nadmorskich. Tworzenie aktualnych DTM określonych obszarów dna morskiego (takich jak tory podejściowe, baseny portowe, szlaki żeglugowe) jest jednym z kluczowych zadań administracji państwowej, realizowanej w Polsce przez Urzędy Morskie (na podstawie ustawy z dnia 21 marca 1991 r.

o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej, Dz.U. z 2017 r., poz. 2205). Tworzenie odpowiednich modeli dna morskiego, a na ich podstawie szczegółowych map morskich, zapewnia bezpieczeństwo żeglugi w omawianych obszarach.

Aby zbudować DTM dna morskiego, należy uprzednio pozyskać informacje pomiarowe. Współczesne systemy pomiarowe, wykorzystujące echosondy wielowiązkowe (MBES – multibeam echosounder), umożliwiają rejestrację wyników obserwacji w sposób ciągły i całkowicie automatyczny, pozwalając na uzyskanie w stosunkowo krótkim czasie ogromnej ilości informacji o ukształtowaniu powierzchni dna morskiego. Na podstawie zebranych danych pomiarowych zgromadzonych w plikach typu XYZ (pozycja punktu pomiarowego oraz głębokość) tworzone są modele DTM, przy wykorzystaniu odpowiednio dobranych algorytmów przetwarzania danych. Ponieważ za pomocą MBES pozyskujemy bardzo duże ilości punktów pomiarowych o dość regularnej gęstości, do budowania modeli dna wykorzystuje się powszechnie siatki *grid*. W szczególnych przypadkach (gdy liczba danych zgromadzonych w siatce *grid* jest bardzo duża) stosuje się metody kompresji tych danych.

Tworzone DTM, a na ich podstawie mapy dna morskiego, muszą spełniać normy określone w Publikacji Specjalnej nr 44<sup>1</sup> wydanej przez Międzynarodową Organizację Hydrograficzną (ang. IHO). Podstawowym celem tego dokumentu jest określenie minimalnych norm pomiarów hydrograficznych tak, aby tworzone modele były wystarczająco dokładne. Normy te dają także sposobność określenia niepewności przestrzennej danych, w celu umożliwienia bezpiecznego korzystania z wyników pomiarów przez użytkowników tych informacji.

Obszar moich zainteresowań naukowych, objęty przedstawionym do oceny cyklem publikacji, można zdefiniować jako **metody tworzenia cyfrowych modeli dna morskiego oparte na strukturze *grid*, na podstawie danych pomiarowych pochodzących z MBES**. W swoich publikacjach poruszam zagadnienia związane z następującymi aspektami:

- opracowanie symulatora „wirtualny sondaż”, umożliwiającego generowanie wysokiej jakości danych testowych,
- opracowanie metod umożliwiających ocenę wpływu różnych parametrów sondażu morskiego na dokładność tworzonych modeli,
- badanie wpływu metod interpolacyjnych na dokładność i szybkość tworzonych modeli,
- modyfikacja metod interpolacyjnych na potrzeby tworzenia DTM dna morskiego,

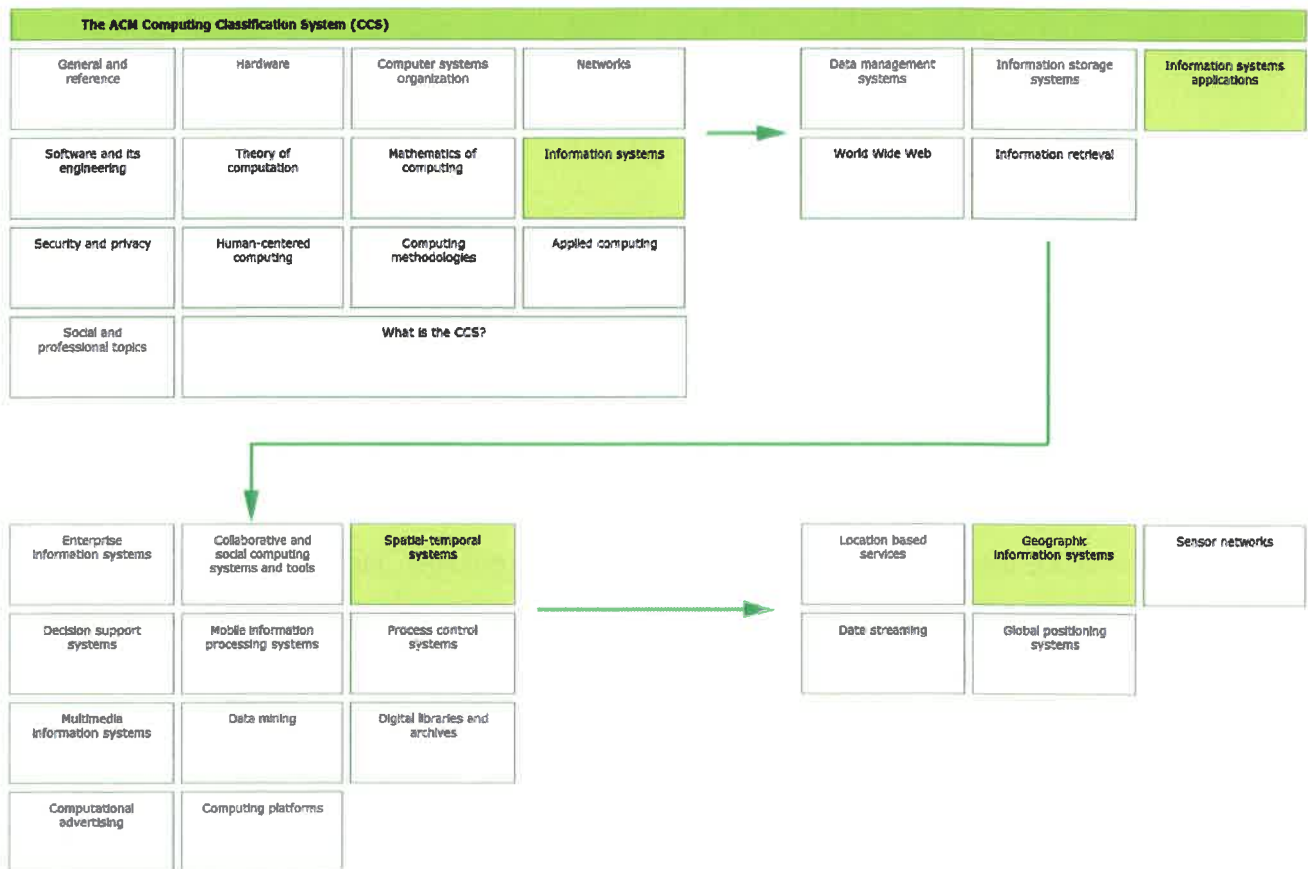
---

<sup>1</sup> IHO (2008), *IHO standards for hydrographic surveys*, Publication No. 44 of International Hydrographic Organization, 5th Edition, [http://www.iho.int/iho\\_pubs/standard/S-44\\_5E.pdf](http://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-44_5E.pdf), dostęp: 14.12.2018.

- tworzenie DTM o zmiennej gęstości (*multi-resolution grid*),
- rozwój metod kompresji bezstratnych i stratnych danych zgromadzonych w DTM oraz danych pomiarowych XYZ.

## Obszar badań

Podejmowana przeze mnie tematyka badawcza sklasyfikowana jest w obszarze „Geographic Information Systems”, zdefiniowanym w systemie ACM CSS 2012 (Association for Computing Machinery Computing Classification System), co pokazuje Rysunek 1.



**Rysunek 1.** Główny obszar badań zgodnie z klasyfikacją ACM

Wszystkie artykuły indeksowane w bazie Web of Science są przydzielane ze względu na obszar badań do jednej lub więcej kategorii. Rysunek 2 prezentuje kategoryzację moich artykułów zaindeksowanych w tej bazie. Warto zauważyć, że 72% wskazań znajduje się w dziedzinie informatyki lub GIS (na rysunku znajdują się one wewnątrz zakreślonego obszaru).



Rysunek 2. Przypadek do kategorii publikacji zaindeksowanych w Web of Science

### Problem oceny dokładności DTM

Istotnym problemem w procesie tworzenia modeli powierzchni dna morskiego są trudności w określeniu błędów tych modeli<sup>2</sup>. Wynika to z faktu, iż nie znamy rzeczywistego ukształtowania mierzonej powierzchni dna, a co za tym idzie – nie możemy porównać utworzonego modelu do powierzchni pierwotnej. Określanie dokładności DTM polega w praktyce na szacowaniu, a następnie zsumowaniu błędów, które powstają w poszczególnych etapach modelowania. Na całkowity błąd modelu wpływ mają parametry sondażu, właściwości i parametry urządzenia pomiarowego (MBES), algorytmy przetwarzania danych (interpolacji), jak i właściwości samego modelu<sup>3</sup>. Najczęściej spotykanym w literaturze podejściem w szacowaniu dokładności tworzonych DTM jest wykorzystanie innych modeli opisujących ten sam obszar, stworzonych na podstawie pomiarów uzyskanych dokładniejszymi technikami lub urządzeniami pomiarowymi<sup>4</sup>, przy czym pomiary z wykorzystaniem MBES uznawane są za jedne z najdokładniejszych, zatem to podejście w tym przypadku (MBES i pomiary dna) nie znajduje zastosowania. Innym sposobem oceny

<sup>2</sup> E.L. Hamilton, *Geoacoustic modeling of the sea floor*, „Journal of the Acoustical Society of America” 1980, vol. 68, iss. 5, pp 1313-1340.

<sup>3</sup> J. Gao, *Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEMs at a micro-scale*, „International Journal of Geographical Information Science” 1997, vol. 11, iss. 2, s. 199-212; W. Maleika, M. Pałczyński, D. Frejlichowski, *Interpolation Methods and the Accuracy of Bathymetric Seabed Models Based on Multibeam Echosounder Data*, [w:] J.S. Pan, S.M., Chen, N.T. Nguyen (eds.), „Intelligent Information and Database Systems”, ACIIDS 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol. 7198, pp 466-475, Springer, Berlin, Heidelberg.

<sup>4</sup> Y. Deng, J.P. Wilson, B.O. Bauer, *DEM resolution dependencies of terrain attributes across a landscape*, „International Journal of Geographical Information Science” 2007, s. 187-213; V.B. Ernstsen et al., *Precision of high-resolution multibeam echo sounding coupled with high-accuracy positioning in a shallow water coastal environment*, „Geo-Marine Letters” 2006, vol. 26, iss. 3, pp 141-149.



dokładności modelu jest analiza dokładności urządzenia pomiarowego<sup>5</sup>, analiza statystyczna błędów urządzenia pomiarowego<sup>6</sup> lub wzajemne porównanie dokładności stosowanych algorytmów interpolacyjnych<sup>7</sup>. W niektórych badaniach do oceny dokładności tworzonych DTM wykorzystuje się powierzchniowo wzorcowe generowane syntetycznie<sup>8</sup>, ale w tym przypadku możemy jedynie z pewnym przybliżeniem (i to trudnym do oszacowania) określić dokładność tworzonego modelu.

Część prowadzonych przeze mnie badań ukierunkowałem na stworzenie nowej metody oraz narzędzia badawczego, umożliwiającego dokładniejsze szacowanie wiarygodności tworzonych DTM dna morskiego.

### **Symulator „wirtualny sondaż”**

Stworzenie symulatora sondażu morskiego (z uwzględnieniem symulacji odczytu głębokości przy użyciu echosondy wielowiązkowej MBES) jest moją propozycją rozwiązania opisanych powyżej trudności przy badaniu i weryfikacji dokładności tworzonych DTM.

Opracowana metoda wirtualnego sondażu oparta jest na podejściu znanym jako metoda śledzenia promieni (ang. *ray tracing*)<sup>9</sup>. Polega ona na założeniu, że wąska wiązka akustyczna może być reprezentowana przez linię (zwaną promieniem), której przebieg odpowiada trajektorii propagacji fali. Umożliwia to symulację rozchodzenia się fali zarówno w aspekcie przestrzennym, jak i czasowym za pomocą modeli matematycznych. Podejście to stosowane jest także z powodzeniem do syntezy symulowanych obrazów sonarowych<sup>10</sup>. Zastosowanie metody śledzenia promieni wydaje się tym bardziej odpowiednie do symulacji pracy echosondy pionowej (SBES) i wielowiązkowej (MBES), ponieważ stosowane w nich wiązki akustyczne są bardzo wąskie,

---

<sup>5</sup> D.F. Dinn, B.D. Loncarevic, G. Costello, *The effect of sound velocity errors on multi-beam sonar depth accuracy*, „Challenges of Our Changing Global Environment”, Conference Proceedings. Oceans '95 MTS/IEEE; B. Volberg, T. Meurling, *Evolution and Future of Multibeam Echosounder Technology*, Underwater Technology and Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies. Symposium on, 2007, s. 147-155; M. Snellen, K. Siemes, D.G. Simons, *A model-based method for reducing the sound speed induced errors in multi-beam echosounder bathymetric measurements*, Oceans '2009 – Europe, pp 1-7.

<sup>6</sup> R. Hare, *Depth and position error budgets for multibeam echosounding*, „International Hydrographic Review” 1995, vol. 72, iss. 2, s. 37-69; W. Maleika, *Development of a Method for the Estimation of Multibeam Echosounder Measurement Accuracy*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2012, vol. 88, iss. 10B, pp 205-208.

<sup>7</sup> C. Pengyun et al., *Comparison and analysis of gridding methods of multi-beam echo sounder*, The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC), Book Series: Chinese Control and Decision Conference, s. 2576-2579; M. Yinglian, P. Shuhong, Q. Jing, *A Study of Two Data Interpolation Methods Based on Surfer Software [J]*, „Bulletin of Surveying and Mapping” 2010, vol. 8, pp 54-56.

<sup>8</sup> J. Lubczonek, M. Borkowski, *Comparative analysis of digital seabed models prepared from single and multibeam sounding data*, Maritime University of Szczecin, PJOES 2007; D. Gosciewski, *Reduction of deformations of the digital terrain model by merging interpolation algorithms*, „Computers & Geosciences” 2013, vol. 64, March, pp 61-71.

<sup>9</sup> A. Glassner, *An Introduction to Ray-Tracing*, Academic Press, London 1989.

<sup>10</sup> J.M. Bell, L.M. Linnett, *Simulation and Analysis of Synthetic Sidescan Sonar Images*, „IEEE Proceedings, Radar, Sonar and Navigation” 1997.

co umożliwia przyporządkowanie każdej z nich pojedynczego promienia w modelu matematycznym.

W trakcie tworzenia systemu opracowano algorytm wyliczający kolejne pozycje statku i przetwornika w przestrzeni (wzór 1), wyznaczono wektor wiązki przetwornika (wzór 2), stworzono model cyfrowy przetwornika MBES (wyznaczenie trajektorii rozchodzenia się  $n$  promieni w przestrzeni) (wzory 3-5), oraz zastosowano algorytm znajdujący punkty przecięcia promieni z powierzchnią.

$$P_{transducer} = \begin{bmatrix} x_{transducer} \\ y_{transducer} \\ z_{transducer} \end{bmatrix} = P_{ship} + R_0 = \begin{bmatrix} x_{ship} + x_0 \\ y_{ship} + y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

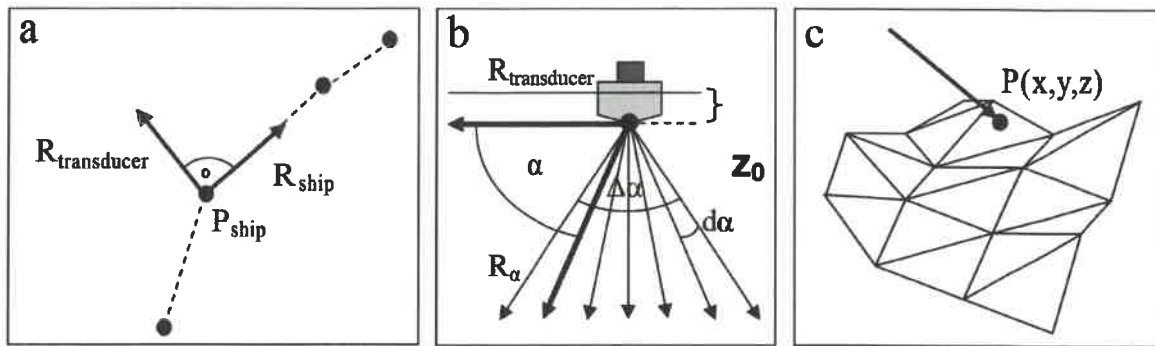
$$R_{transducer} = \begin{bmatrix} kx_{transducer} \\ ky_{transducer} \\ kz_{transducer} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -ky_{ship} \\ kx_{ship} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \alpha_0 = \frac{\pi - \Delta\alpha}{2}, \\ d\alpha = \frac{\Delta\alpha}{N_{beam} - 1}, \\ \alpha = \alpha_0 + i \cdot d\alpha, \\ i = 0 \dots (N_{beam} - 1), \end{cases} \quad (3)$$

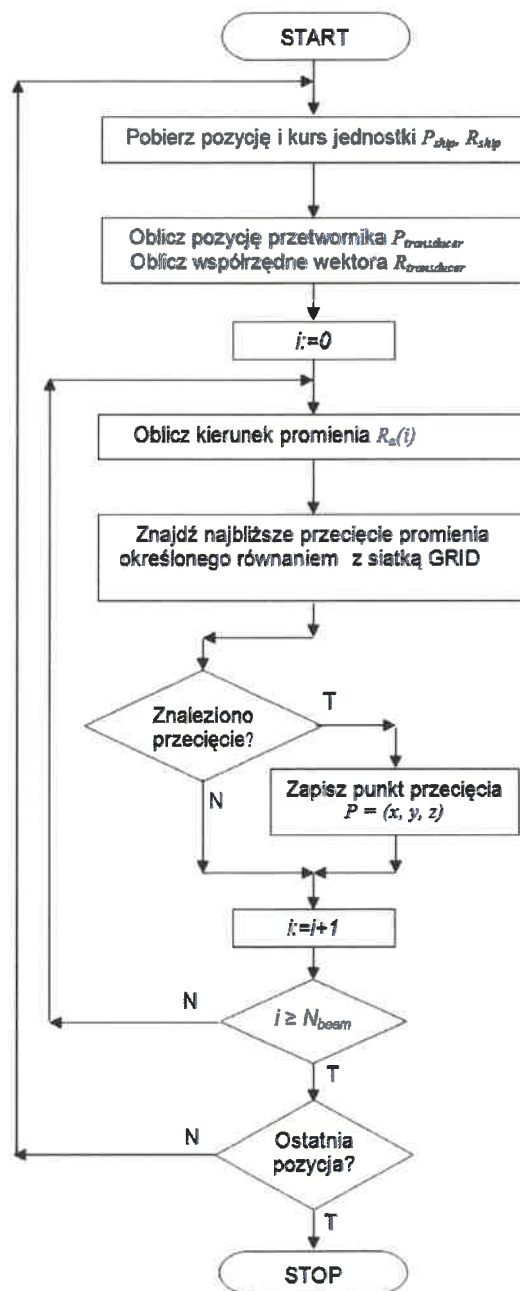
$$R_\alpha = \begin{bmatrix} kx_\alpha \\ ky_\alpha \\ kz_\alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} kx_{transducer} \cdot \cos(\alpha) \\ ky_{transducer} \cdot \cos(\alpha) \\ -\sin(\alpha) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$P_\alpha = P_{transducer} + t \cdot R_\alpha, \quad t > 0 \quad (5)$$

Na Rysunku 3 zaprezentowano wybrane elementy zasady działania symulatora, a na Rysunku 4 przedstawiono ogólny algorytm wyznaczania punktów pomiarowych podczas wirtualnego sondażu.



Rysunek 3. Wybrane elementy modelu symulatora: a) wyznaczenie wektora wiązki MBES, b) wyznaczenie kierunku promienia, c) wyznaczenie punktu przecięcia promienia z siatką grid



Rysunek 4. Ogólny algorytm wyznaczania punktów pomiarowych w symulatorze „wirtualny sondaż”

Wykorzystując opracowany symulator „wirtualny sondaż” opracowano następną metodę umożliwiającą badanie dokładności DTM. Można ją przedstawić w trzech krokach:

1. Na podstawie rzeczywistych danych pomiarowych pochodzących z MBES obliczana jest powierzchnia wzorcowa o dużej dokładności (*grid* o wysokiej rozdzielczości).
2. Wykorzystując symulator „wirtualny sondaż” oraz powierzchnię wzorcową, generowany jest symulowany zbiór danych testowych XYZ. Właściwości tak wygenerowanych danych są bardzo podobne do danych pochodzących z rzeczywistych pomiarów z użyciem MBES.
3. Wygenerowane dane testowe XYZ wykorzystuje się do dalszych badań metod tworzenia DTM. Otrzymane w ich wyniku modele możemy porównać bezpośrednio do modelu wzorcowego, co umożliwia z kolei wyznaczenie macierzy błędów modelu, a więc szacowanie jego dokładności.

Proponowane podejście posiada następujące cechy:

1. Otrzymane w wyniku wirtualnego sondażu punkty pomiarowe mają zbliżoną postać do danych rzeczywistych – niejednorodne rozłożenie punktów, opis w dziedzinie liczb rzeczywistych, zmienna gęstość i rozkład punktów zależny od położenia względem urządzenia pomiarowego.
2. Prosta weryfikacja otrzymanych w dalszych badaniach modeli DTM – porównanie otrzymanej struktury *grid* z wzorcową siatką *grid*.
3. Możliwość regulacji parametrów wirtualnego sondażu: prędkość jednostki, parametry pracy echosondy, dobór profili sondażowych.

Pierwsze badania koncepcyjne nad symulatorem zostały zainicjowane przeze mnie i dr. inż. Michała Pałczyńskiego w roku 2008, a opis założeń działania systemu przedstawiliśmy w artykule *Virtual marine sounding*<sup>11</sup>. Pierwszy algorytm działania systemu, a w szczególności moduł związany z symulacją działania MBES zaprezentowaliśmy w artykule *Virtual multibeam echosounder in investigations on sea bottom modeling*<sup>12</sup>. Efekty implementacji stworzonej metody

---

<sup>11</sup> W. Maleika, M. Pałczyński, *Virtual marine sounding*, „Polish Journal of Environmental Studies” 2008, vol. 17, no. 4C, HARD Publishing Company, pp 312-316, Olsztyn.

<sup>12</sup> W. Maleika, M. Pałczyński, *Virtual multibeam echosounder in investigations on sea bottom modeling*, „Metody Informatyki Stosowanej” 2008, nr 4s.

opisaliśmy w artykule *Opracowanie symulatora echosondy wielowięzkowej*<sup>13</sup>. Mój wkład w zrealizowaniu tego osiągnięcia polegał na opracowaniu i stworzeniu następujących elementów systemu: ogólna koncepcja symulatora, moduł odpowiedzialny za opisanie parametrów pracy MBES, model propagacji promieni MBES, moduł wyznaczania pozycji pomiaru (statku), moduł zapisu danych w formacie Surfer ASCII, graficzny interfejs użytkownika oraz testy użytkowe stworzonego oprogramowania.

Opis działania udoskonalonego symulatora wraz z algorytmami i badaniami testowymi zaprezentowałem w artykule *The influence of track configuration and multibeam echosounder parameters on the accuracy of seabed DTMs obtained in shallow water* [4.B poz. 6]. Artykuł ten jest przekrojowy i prezentuje także badania związane z określeniem wpływu parametrów sondu oraz metod tworzenia *grid* na dokładność tworzonych modeli dna morskiego (MBES).

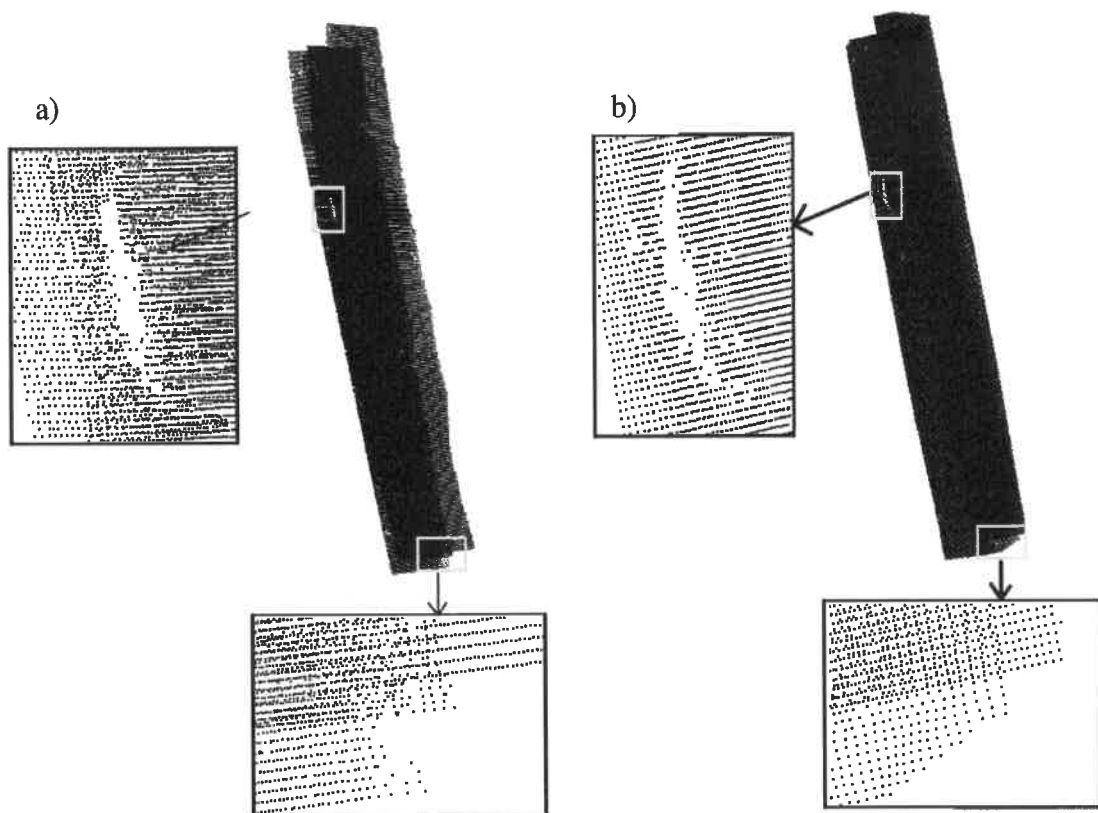
Weryfikacji działania symulatora dokonano porównując dane pochodzące z rzeczywistych i symulowanych pomiarów (przy zbliżonych ustawieniach parametrów sondu), obejmujących ten sam akwen. Wynik tego porównania prezentuje Tabela 2.

*Tabela 2. Porównanie rzeczywistego i symulowanego zbioru punktów sondażowych*

<i>Właściwość</i>	<i>Dane rzeczywiste</i>	<i>Dane symulowane</i>
Całkowita liczba punktów	121 864	119100
Liczba punktów w wiązce	100	100
Średnia szerokość wiązki [m]	9,40	9,90
Średnia odległość między punktami w środku wiązki [m]	0,051	0,059
Średnia odległość między punktami na zewnątrz wiązki [m]	0,23	0,24
Średnia odległość pomiędzy kolejnymi liniami wiązek [m]	0,18	0,17

Na Rysunku 5 zaprezentowano efekt działania symulatora „wirtualny sondaż” pokazujący rozkład rzeczywistych (a) i symulowanych (b) punktów sondażowych.

<sup>13</sup> W. Maleika, M. Pałczyński, *Opracowanie symulatora echosondy wielowięzkowej*, „Biuletyn WAT” 2011, vol. 60(663) nr 3, s. 215-225.



Rysunek 5. Porównanie rozkładu rzeczywistych (a) i symulowanych (b) punktów sondażowych

Opracowana metoda „wirtualnego sondażu” stanowi wartościowe komputerowe narzędzie wspomagające badania w dziedzinie metod tworzenia DTM oraz wariantów prowadzenia prac sondażowych (co wykorzystałem w dalszych badaniach). Jej zastosowanie umożliwia m.in.:

- badanie dokładności różnych metod interpolacji (tworzenia siatek *grid*) z zastosowaniem rzeczywistych powierzchni testowych,
- badanie wpływu parametrów prac sondażowych (takich jak gęstość i układ profili, prędkość jednostki, trajektoria ruchu jednostki i inne) na dokładność tworzonych modeli dna,
- badanie wpływu parametrów echosondy (MBES) na dokładność tworzonych modeli dna,
- badanie wpływu rozdzielczości siatki *grid* na dokładność tworzonych modeli dna,
- porównanie dokładności modeli dna zbudowanych na podstawie sondażu z użyciem echosondy jedno- i wielowiązkowej.

Należy wyraźnie zaznaczyć, że opracowany symulator „wirtualnego sondażu” nie umożliwia obliczenia dokładności DTM stworzonego na podstawie rzeczywistych pomiarów, a jest jedynie narzędziem, które dzięki odpowiedniemu przygotowaniu wysokiej jakości danych

testowych i powierzchni wzorcowych umożliwia badanie wpływu parametrów sondu oraz zastosowanych algorytmów na dokładność tworzonych modeli.

Opracowany system po niewielkich modyfikacjach można także wykorzystać do symulacji innych, podobnie działających systemów pomiarowych, np. LiDAR (skanowanie terenu z samolotu lub satelity z wykorzystaniem impulsów światła laserowego).

### **Analiza dokładności pomiarowej MBES**

Błędy powstające w procesie odczytu głębokości przez urządzenie MBES stanowią istotną część całkowitego błędu w całym procesie tworzenia DTM<sup>5</sup>. Przyjmuje się najczęściej, iż błąd głębokości odpowiada dokładności pomiarowej urządzenia, która podawana jest przez producenta. Niestety, producenci ograniczają się zazwyczaj do informacji jedynie o wartości błędu średniego lub średniokwadratowego (RMS). Wartość ta nie ukazuje faktycznego rozkładu błędów urządzenia, które jak można domniemać, zależą od wielu czynników, takich jak: głębokość w miejscu pomiaru, szerokość kąta pomiędzy promieniem w wiązce pomiarowej a pionem, rodzaj dna (kamienne, piaszczyste, muliste itp.), typ użytego urządzenia (używana częstotliwość), i inne.

W swoich badaniach opracowałem komputerową metodę umożliwiającą dokładniejsze szacowanie wartości i rozkład błędów powstających w procesie pomiaru z użyciem MBES. Metoda ta dokonuje analizy całego zbioru rzeczywistych danych pomiarowych, uwzględniając właściwości każdego punktu pomiarowego niezależnie. W trakcie analizy, zbiór danych jest odpowiednio grupowany, co umożliwia wyodrębnienie kompletnych linii pomiarowych (*swathes*), dla których wyliczany jest teoretyczny przekrój dna (przy wykorzystaniu wielomianu aproksymującego). W kolejnym etapie dla każdego punktu w linii pomiarowej wyznaczany jest błąd pomiaru, rozumiany jako różnica pomiędzy głębokością zmierzoną, a odpowiadającą jej wartością w profilu teoretycznym. Wyliczane błędy są grupowane do odpowiednich przedziałów ze względu na wartość kąta promienia MBES oraz głębokość w mierzonym miejscu.

Szczegółowy opis metody oraz przykładowe badania testowe opublikowałem w artykule *Development of a Method for the Estimation of Multibeam Echosounder Measurement Accuracy* [4.B poz. 7]. Rysunek 6 przedstawia ogólną ideę opracowanej metody, a Rysunek 7 wynik przykładowej analizy. Dzięki opracowanej metodzie możliwa jest precyzyjniejsza analiza dokładności pomiarowej dowolnych sonduży. Przykładowo dla badanej echosondy Simrad EM3000 producent zadeklarował dokładność pomiaru 5 cm. Na podstawie badań wyliczono, że błąd

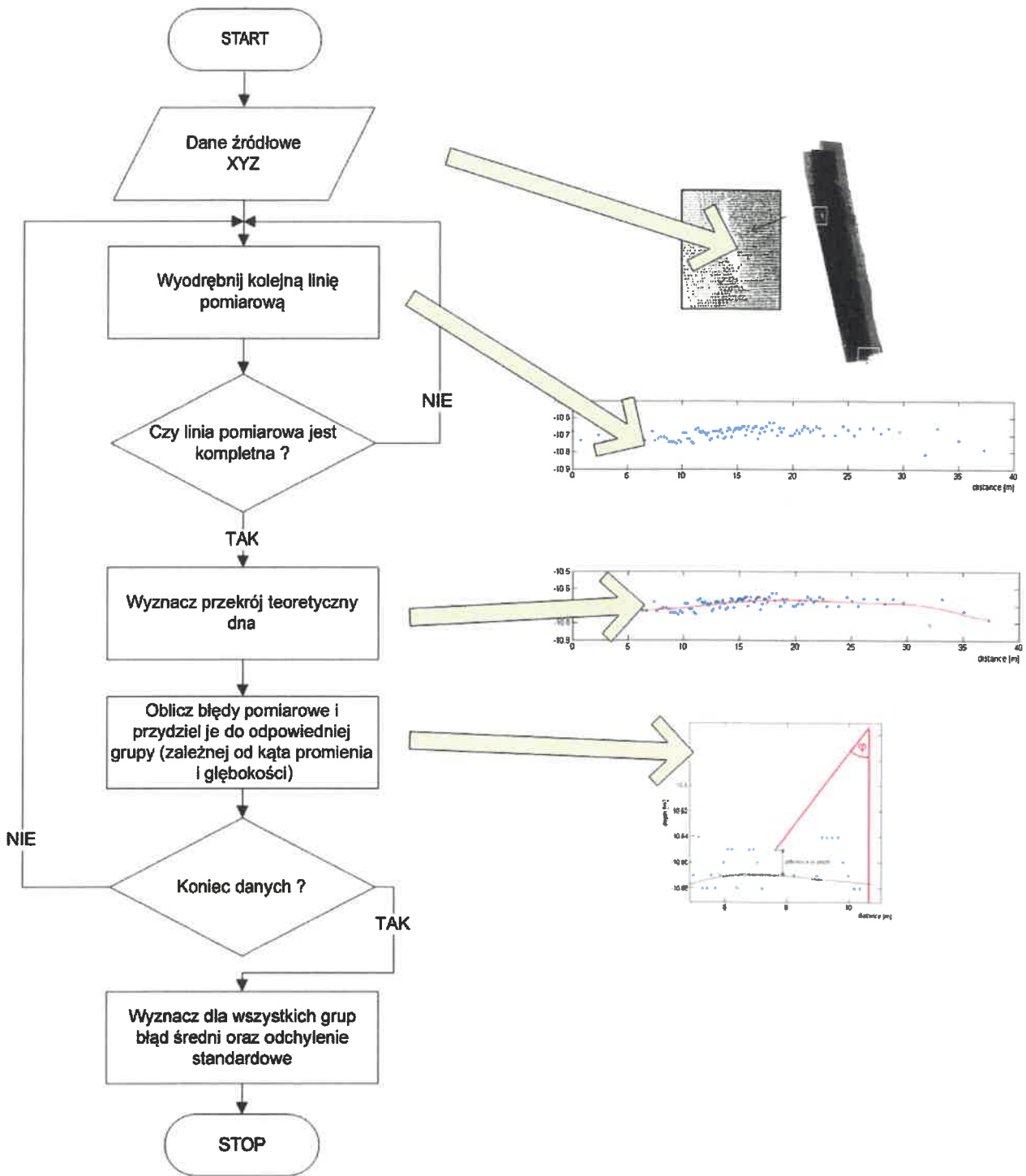
urządzenia wynosi ~3 cm dla głębokości 2-8 metrów, ~4 cm dla głębokości 8-16 metrów, 5-6 cm dla głębokości 16-20 metrów, osiągając 7-8 cm dla głębokości 22 metry. Biorąc pod uwagę wartość kąta wiązki od pionu wykazano, że w zakresie od  $-55^{\circ}$  do  $+55^{\circ}$  błąd pomiaru nie ulega istotnej zmianie. Powyżej wartości  $55^{\circ}$  (po obu stronach) błąd pomiaru rośnie gwałtownie (nawet trzykrotnie dla największych wartości kąta). Z uzyskanych rezultatów wynika, iż w celu zachowania dużej dokładności pomiarów, maksymalny kąt wiązki nie powinien przekraczać 110 stopni (liczony dla obu stron).

Wykorzystanie opracowanej metody do analizy dużego zbioru danych pomiarowych (ponad 180 mln punktów pomiarowych pochodzących z MBES) oraz otrzymane wyniki tych badań umożliwiły udoskonalenie symulatora „wirtualnego sondażu” o dodatkowy moduł „szumów”, który symuluje błędy pomiarowe urządzenia, co opisano w artykule *Multibeam echosounder simulator applying noise generator for the purpose of sea bottom visualization*<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> W. Maleika, M. Pałczyński, D. Frejlichowski, *Multibeam echosounder simulator applying noise generator for the purpose of sea bottom visualization*, [in:] G. Maino, G.L. Foresti (eds.), “Image Analysis and Processing”, ICIAP 2011, part 2, Book Series: Lecture Notes in Computer Science, vol. 6979, iss. II, pp 285-293.

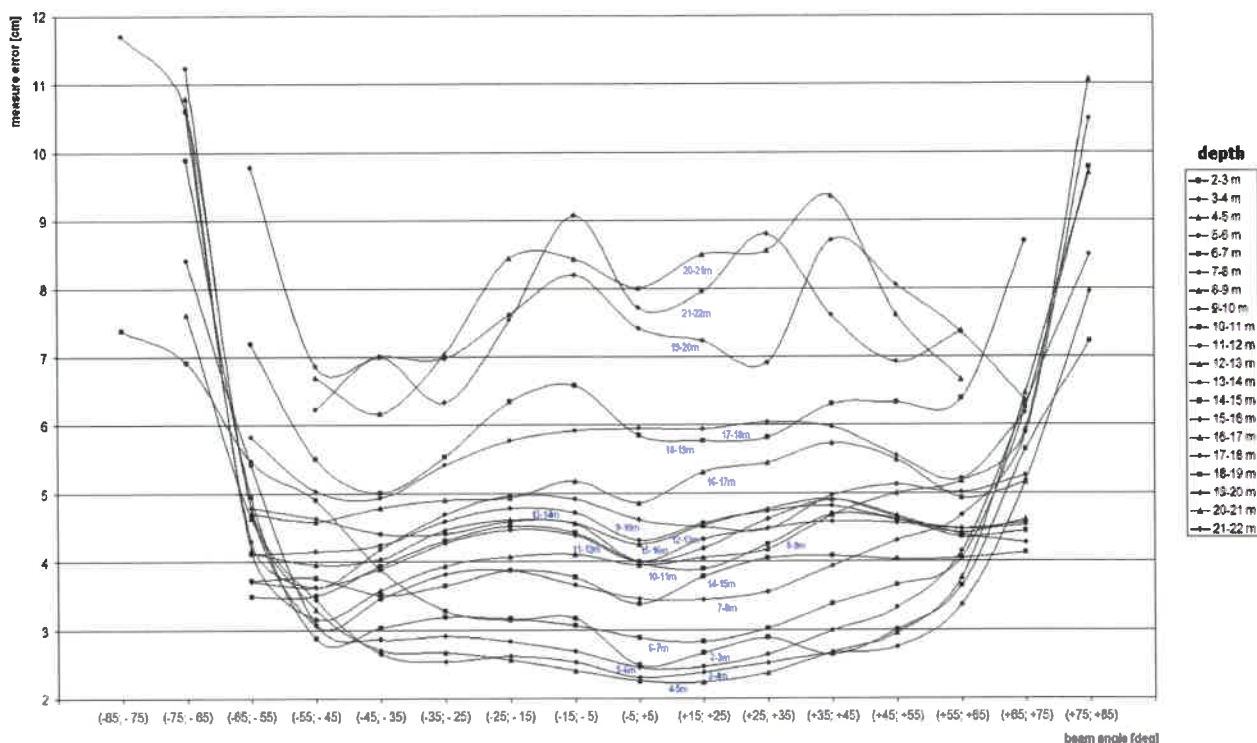




Rysunek 6. Ogólny schemat opracowanej metody szacowania błędów pomiarowych MBES

Opracowana metoda szacowania dokładności pomiarowej MBES umożliwia znacznie precyzyjniejsze określanie błędów powstających w czasie pomiarów, a co za tym idzie, także dokładności tworzonych DTM. Istotną zaletą tej metody jest fakt, iż analizę rozkładu błędów urządzenia pomiarowego (MBES) możemy dokonać dla dowolnego urządzenia, akwenu oraz różnych parametrów związanych z urządzeniem pomiarowym. Zastosowanie tej metody przez

instytucje lub firmy zajmujące się pomiarami hydrograficznymi umożliwią im precyzyjniejsze szacowanie dokładności tworzonych modeli i map morskich.



Rysunek 7. Wynik przykładowej analizy 180 mln punktów pomiarowych

Opracowaną metodę można wykorzystać także do analizy dokładności pomiarowej danych pozyskanych z wykorzystaniem innych urządzeń, w szczególności gdy mamy do czynienia z pomiarami z wykorzystaniem wiązek danych, a ich ilość jest znaczna (np. LiDAR, georadar, itp.).

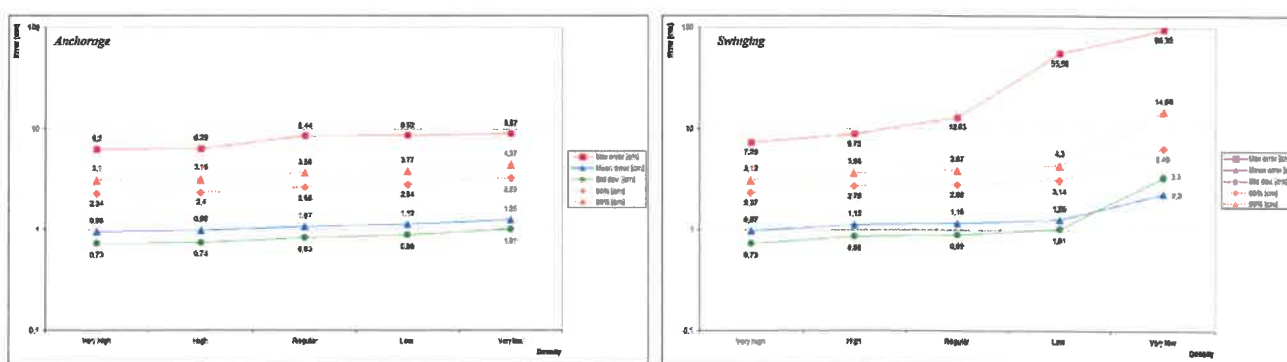
### **Badanie wpływu parametrów sondażu morskiego na dokładność tworzonych DTM**

Kolejne prowadzone przeze mnie badania miały na celu opracowanie metody umożliwiającej badanie wpływu parametrów sondażu morskiego na całkowity błąd tworzonych modeli cyfrowych terenu. W pracy *The impact of the hydrographic ship's velocity on the accuracy of seabed models*<sup>15</sup> opisałem metodę i wyniki badań przedstawiające wpływ prędkości jednostki pomiarowej na dokładność tworzonych DTM dna morskiego. Podobną metodę badawczą wykorzystałem do zbadania wpływu układu profili pomiarowych na dokładność DTM, co

<sup>15</sup> W. Maleika, M. Pałczyński, *The impact of the hydrographic ship's velocity on the accuracy of seabed models*, „Roczniki Geomatyki” 2011, t. 9, z. 2 (46), s. 67-77.

przedstawione zostało w pracy *Wpływ układu profili pomiarowych na dokładność tworzonych modeli dna przy pracach sondażowych z wykorzystaniem echosondy wielowiązkowej*<sup>16</sup>. Duże znaczenie na dokładność tworzonych modeli i przebieg sondażu ma również przyjęta szerokość wiązki w MBES. Wyniki tych badań opisałem w pracy *The influence of the beam width in multibeam echosounder on the accuracy of seabed models*<sup>17</sup>.

W artykule *Effect of Density of Measurement Points Collected from a Multibeam Echosounder on the Accuracy of a Digital Terrain Model* [4.B poz. 9] opisałem opracowaną autorską metodę umożliwiającą badanie wpływu wybranych parametrów sondażu morskiego (prędkość jednostki pomiarowej, szerokość wiązki MBES, układ profili pomiarowych) na dokładność tworzonych DTM. Co ważne, nie analizowałem każdego z parametrów z osobna (co miało miejsce w poprzednich artykułach), a różne ich kombinacje zachodzące jednocześnie, co wiarygodniej odzwierciedla sytuację z rzeczywistych pomiarów. Opisana w pracy metoda i przykładowe badania pokazują, że wyraźne zwiększenie gęstości punktów pomiarowych tylko w niewielkim stopniu zwiększają dokładność tworzonych modeli. Przyjmując wartości środkowe parametrów sondażu (prędkość = 5 węzłów, kąt MBES = 110°, profile równoległe nachodzące 15%) uzyskujemy modele o wysokiej dokładności (błąd średni = 3 cm, przy dozwolonych 20 cm wg norm IHO). Dalsze znaczne zwiększenie gęstości punktów pomiarowych powoduje niewielki wzrost dokładności modelu (błąd średni = 2,5 cm), a obciążone to jest wielokrotnie większym kosztem prac sondażowych. Dużo mniejsza gęstość punktów pomiarowych skutkuje znacznym pogorszeniem dokładności modelu (błąd średni = 10 cm), co właściwie wyklucza takie pomiary. Wyniki badań przedstawia Rysunek 8.



Rysunek 8. Wpływ parametrów sondażu i gęstości punktów pomiarowych na dokładność modelu

<sup>16</sup> W. Maleika, *Wpływ układu profili pomiarowych na dokładność tworzonych modeli dna przy pracach sondażowych z wykorzystaniem echosondy wielowiązkowej*, „Metody Informatyki Stosowanej” 2011, t. 29, nr 4/1, s. 269-278.

<sup>17</sup> W. Maleika, M. Pałczyński, *The influence of the beam width in multibeam echosounder on the accuracy of seabed models*, „Górnictwo i Geoinżynieria” R. 35, 2011, z. 4/1, s. 257-266, ISSN 1732-6702.

Opracowana metoda badawcza i wyniki testowe pozwalają na taki dobór parametrów sondażu morskiego, aby uzyskać wysoką dokładność modelu przy niewygórowanych nakładach czasowych i kosztach pomiarów sondażowych.

Większość dostępnych podobnych badań dotyczy środowiska lądowego oraz danych zebranych z wykorzystaniem urządzenia LiDAR<sup>18</sup>. Ze względu na inny rodzaj danych, zastosowane algorytmy i urządzenia, a także oczekiwane dokładności modeli, porównywanie otrzymanych wyników jest trudne.

Opracowaną metodę (po niewielkich modyfikacjach) można z powodzeniem wykorzystać do badań nad dokładnością modeli tworzonych na podstawie danych przestrzennych zebranych z wykorzystaniem urządzeń pomiarowych innego typu (np. LiDAR, sonar).

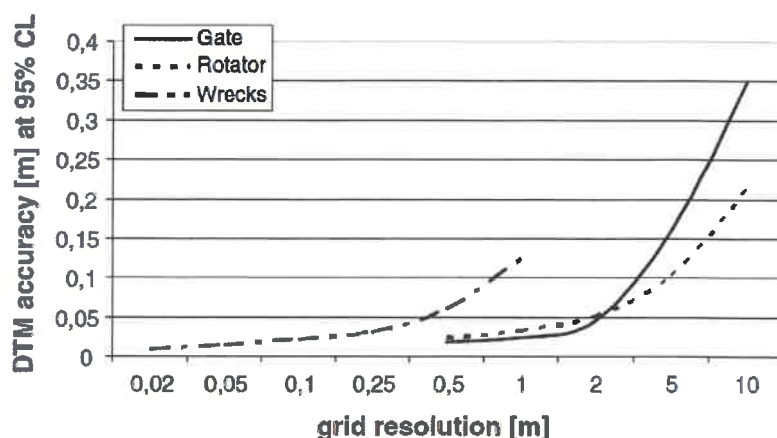
### **Badanie wpływu rozdzielczości modelu (siatki *grid*) na dokładność tworzonych DTM**

Tworząc model DTM na podstawie struktury *grid*, musimy w pierwszej kolejności określić jego rozdzielczość (inaczej rozmiar siatki *grid* – rozumiany jako odległość pomiędzy dwoma sąsiednimi punktami w siatce, wyrażona najczęściej w metrach lub centymetrach). Siatki o większej rozdzielczości (mniejszy rozmiar *grid*) dokładniej opisują powierzchnię, ale obarczone to jest dużo większą objętością zgromadzonych w niej danych. W pracach hydrograficznych dobiera się najczęściej rozmiar siatki *grid* tak, aby spełniała ona normy IHO.

W pracy *The influence of the grid resolution on the accuracy of the digital terrain model used in seabed modeling* [4.B poz. 5] opisałem autorską metodę, umożliwiającą badanie wpływu rozdzielczości siatki *grid* na dokładność tworzonych modeli. Przeprowadzone badania testowe miały na celu wskazać (w wartościach bezwzględnych), o ile dokładność modelu rośnie wraz ze wzrostem rozdzielczości siatki *grid*. Badania testowe przeprowadzono dla siatek *grid* o rozmiarach od 0,02 m do 10 m. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń wykazano, że zadowalające wyniki uzyskujemy już dla *grid* = 2 m (błąd średni = 2,39 cm). Dla siatki *grid* o dużej rozdzielczości (*grid* = 0,5 m) błąd średni wynosi 1,01 cm. Dalsze zwiększanie rozdzielczości siatki skutkuje tylko nieznacznym wzrostem dokładności modelu (dla *grid* = 0,1 m błąd średni = 0,73 cm) przy bardzo dużym wzroście ilości przechowywanych danych (siatka *grid* = 0,1 m zawiera 400 razy więcej danych niż *grid* = 2 m). Używanie siatek *grid* o dużej rozdzielczości zasadne jest więc tylko w wyjątkowych sytuacjach. Przykładowe wyniki uzyskane w badaniach prezentuje Rysunek 9.

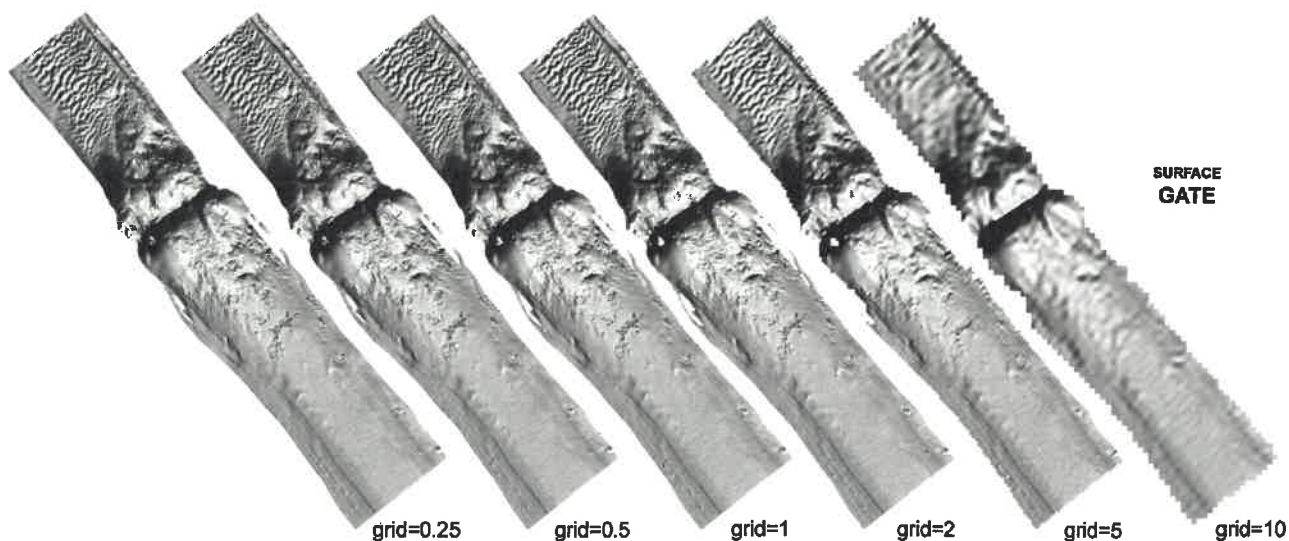
---

<sup>18</sup> ME Hodgson, P. Bresnahan, *Accuracy of airborne lidar-derived elevation: Empirical assessment and error budget*. Photogrammetric Engineering And Remote Sensing, 2004, Volume: 70, Issue: 3, Pages: 331-339



Rysunek 9. Wpływ gęstości siatki grid na dokładność modelu

Przykładowe wizualizacje tej samej powierzchni z wykorzystaniem siatek *grid* o różnym rozmiarze prezentuje Rysunek 10.



Rysunek 10. Wizualizacje powierzchni „gate” z wykorzystaniem siatek grid o różnym rozmiarze

Stworzona metoda umożliwia użytkownikom systemów GIS dobór właściwych rozdzielczości siatek *grid*, w zależności od przeznaczenia i oczekiwanych dokładności modelu.

Zbliżone badania dotyczące danych lądowych można znaleźć w pracy Heesoma i Mahdjoubiego pt. *Effect of grid resolution and terrain characteristics on data from DTM*<sup>19</sup>. Odmienna charakterystyka ukształtowania powierzchni lądowych i dna morskiego oraz

<sup>19</sup> D. Heesom, L. Mahdjoubi, *Effect of grid resolution and terrain characteristics on data from DTM*, „Journal of Computing in Civil Engineering”, Volume: 15, Issue: 2, 2001, pp. 137-143.

zastosowane inne metody przetwarzania danych utrudniają bezpośrednie porównanie otrzymanych wyników.

Prace związane z badaniem wpływu rozdzielczości siatek grid na dokładność tworzonych modeli opisujących różnorodne zjawiska są realizowane w wielu ośrodkach badawczych. Można dla przykładu przytoczyć artykuły dotyczące modeli wysokościowych tworzonych na podstawie zdjęć o różnych rozdzielczościach<sup>20</sup>, globalnych modeli geopotencjału<sup>21</sup>, modeli pływów opartych o różne metody modelowania<sup>22</sup>, czy też wpływu „szorstkości” ukształtowania powierzchni i rozdzielczości siatki *grid* na dokładność modelu<sup>23</sup>. Wielokierunkowość tych badań pokazuje, że właściwy dobór rozdzielczości modelu ma istotny wpływ na dokładność i wiarygodność opisywanej warstwy informacyjnej.

### **Badanie wpływu użytych metod interpolacji na dokładność DTM**

Jednym z etapów tworzenia DTM (także lądowych) jest interpolacja danych pomiarowych. Jej celem jest wyliczenie regularnej siatki *grid* na podstawie nieregularnych danych pomiarowych. Istnieje w użyciu wiele różnych metod interpolacyjnych, a ich dobór na potrzeby tworzenia DTM zależy przede wszystkim od ilości i rozkładu danych pomiarowych oraz charakterystyki ukształtowania powierzchni. O ostatecznym wyborze metody decyduje przede wszystkim dokładność uzyskanego modelu, ale też i czas obliczeń. Większość dostępnych prac w tym zakresie obejmuje powierzchnie lądowe<sup>24</sup>, a mniej liczne związane są z tworzeniem modeli dna morskiego<sup>25</sup>.

<sup>20</sup> F.J. Aguilar, F. Aguera, F. M.A. Aguilar, et al. *Effects of terrain morphology, sampling density, and interpolation methods on grid DEM accuracy*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2005, Volume: 71, Issue: 7, Pages: 805-816.

<sup>21</sup> N.K. Pavlis, S.A. Holmes, S.C. Kenyon, J.K. Factor, *The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)*, Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 2012, Volume: 117, Article Number: B04406.

<sup>22</sup> M.E. Lee, G. Kim, V.T. Nguyen, *Effect of local refinement of unstructured grid on the tidal modeling in the southwestern coast of Korea*, Journal of Coastal Research, 2013, Special Issue: 65, Part: 2, Pages: 2017-2022.

<sup>23</sup> D. Heesom, L. Mahdjoubi, *Effect of grid resolution and terrain characteristics on data from DTM*. Journal of Computing in Civil Engineering, 2001, Volume: 15, Issue: 2, Pages: 137-143.

<sup>24</sup> C. Yang et al., *Twelve different interpolation methods. A case study of Surfer 8.0.*, Proceedings of the XXth ISPRS Congress (2004); C.A. Rishikeshan, S.K. Katiyar, V.N. Mahesh, *Detailed evaluation of DEM interpolation methods in GIS using DGPS data*, 2014 6th International conference on computational intelligence and communication networks, pp 666-671; A. Kobler et al., *Repetitive interpolation. A robust algorithm for DTM generation from Aerial Laser Scanner Data in forested terrain*, „Remote Sensing of Environment” 2007, vol. 108, iss. 1, pp 9-23; K. Sterenczak et al., *Comparison of various algorithms for DTM interpolation from LIDAR data in dense mountain forests*, „European Journal of Remote Sensing” 2016, vol. 49, pp 599-621; J.R. Santillan et al., *Influence of river bed elevation survey configurations and interpolation methods on the accuracy of lidar DTM-based river flow simulations*, International Conference on Geomatic and Geospatial Technology (GGT), Kuala Lumpur, Malaysia, 03-05.10. 2016, Book Series: International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 42-44, iss. W1, pp 225-235.

<sup>25</sup> R.E. Loke, J.M.H. Du Buf, *Fast interpolation, segmentation and visualization of 3D sonar seabottom data by using tree structures*, Oceans '99 MTS/IEEE: Riding the Crest into the 21st Century, vols. 1-3, pp 1571-1576.

W tym drugim przypadku badania wykonywane są z wykorzystaniem danych pomiarowych obejmujących obszary zróżnicowane pod względem występujących tam głębokości, form ukształtowania dna, wielkości badanego obszaru oraz gęstości punktów pomiarowych. Badania te wykonywane są także dla różnorodnych, co do właściwości, siatek *grid*. Prezentowane wyniki badań nie zawsze opisują bezwzględną dokładność tworzonych modeli, wskazując jedynie otrzymane różnice pomiędzy modelami wyliczonymi z zastosowaniem różnych metod interpolacyjnych. Dlatego też, w praktyce, bardzo trudne jest wzajemne precyzyjne porównanie moich badań z tymi uzyskanymi w innych ośrodkach. Celem moich badań było więc także opracowanie ujednoczonej metody eksperymentalnej umożliwiającej badanie wpływu różnych parametrów modelu i algorytmów przetwarzania danych na dokładność tworzonych modeli dna.

W pracy *Interpolation Methods and the Accuracy of Bathymetric Seabed Models Based on Multibeam Echosounder Data* [4.B poz. 8] przedstawiłem wyniki szerokich badań nad dokładnością tworzonych DTM z wykorzystaniem 11 różnych metod interpolacyjnych (w 31 wariantach). Dobór metod i wariantów interpolacji został dopasowany do charakteru danych pomiarowych (szczególnie co do ich ilości i rozkładu).

Na potrzeby tych badań przygotowano różnorodne (co do charakteru ukształtowania) powierzchnie wzorcowe, o dużej gęstości. Przeprowadzone badania wykazały, że trzy metody: *kriging*, *inverse distance to a power* oraz *moving average*, dają zdecydowanie lepsze rezultaty w porównaniu z pozostałymi metodami interpolacyjnymi. Gdy istotna dla nas jest szybkość obliczeń (a to występuje przy przetwarzaniu dużych zbiorów danych), warto stosować metodę *moving average* (błąd średni modelu 2,21 cm, czas obliczeń 3 s). Jeżeli jedynym priorytetem jest dokładność tworzonych modeli, powinniśmy zastosować metodę *kriging* (błąd średni 1,08 cm, czas obliczeń 534 s). Trzecia z metod jest wyborem pośrednim, uzyskujemy w tym przypadku dość dokładny model przy relatywnie krótkim czasie obliczeń (błąd średni 1,75 cm, czas obliczeń 126 s). Podane powyżej przykładowe wyniki dotyczą jednej z powierzchni testowych. Tabela 3 prezentuje otrzymane zbiorcze wyniki dla najlepszych dziesięciu wariantów interpolacji (po lewej z uwzględnieniem dokładności modelu i czasu obliczeń, po prawej jedynie dokładności modelu).

Tabela 3. Wyniki dla najlepszych dziesięciu wariantów interpolacji

No	Method	Smoothing method	Search radius	Achorage	Swinging area	Gate	Wrecks	Average
1	MA	No	1x1	96,97	91,72	84,81	70,12	85,90
2	IDP	factor=1	1x1	95,09	90,57	82,48	73,74	85,47
3	IDP	No	1x1	90,70	89,34	81,99	79,60	85,38
4	IDP	factor=5	1x1	95,10	90,18	81,99	73,00	85,07
5	IDP	factor=10	1x1	95,09	90,16	81,97	72,97	85,05
6	K	ne = 1,1	1x1	86,69	85,38	78,75	75,44	81,56
7	TLI	No	-	89,54	83,83	63,48	84,29	80,29
8	NN	No	1x1	85,96	82,94	75,59	76,58	80,27
9	IDP	No	5x5	90,02	88,58	63,25	76,69	79,64
10	IDP	factor=5	5x5	94,47	88,67	62,65	69,40	78,80

No	Method	Smoothing method	Search radius	Achorage	Swinging area	Gate	Wrecks	Average
1	K	ne = 1,1	1x1	95,00	92,34	84,27	78,438	87,31
2	IDP	factor=1	1x1	96,23	91,05	82,52	72	85,45
3	IDP	No	1x1	90,93	89,22	81,71	78,75	85,15
4	IDP	factor=5	1x1	96,25	90,61	81,96	71,1	84,98
5	IDP	factor=10	1x1	96,25	90,57	81,91	71,055	84,94
6	K	No	1x1	87,66	86,63	80,13	82,412	84,21
7	MA	No	1x1	96,29	90,55	83,15	65,835	83,96
8	K	ne = 3,3	5x5	95,99	91,94	72,87	74,985	83,94
9	K	ne = 10,10	10x10	96,31	90,95	63,69	72,563	80,88
10	IDP	No	5x5	91,03	89,36	63,71	78,739	80,71

Porównując metodę moich badań z innymi opisanymi w literaturze (np. *Effect of gridding method on digital terrain model profile data based on scattered data*<sup>26</sup>), warto podkreślić, że zastosowanie symulatora „wirtualnego sondażu” umożliwiło przygotowanie powierzchni wzorcowych o dużej rozdzielczości, a następnie plików sondażowych (testowych), których charakterystyka i właściwości są bardzo podobne do tych uzyskiwanych w rzeczywistych pomiarach. Takie rozwiązanie dodatkowo zwiększa wiarygodność wykonanych badań.

### Optimalizacja metod interpolacji, zwiększenie dokładności tworzonych DTM

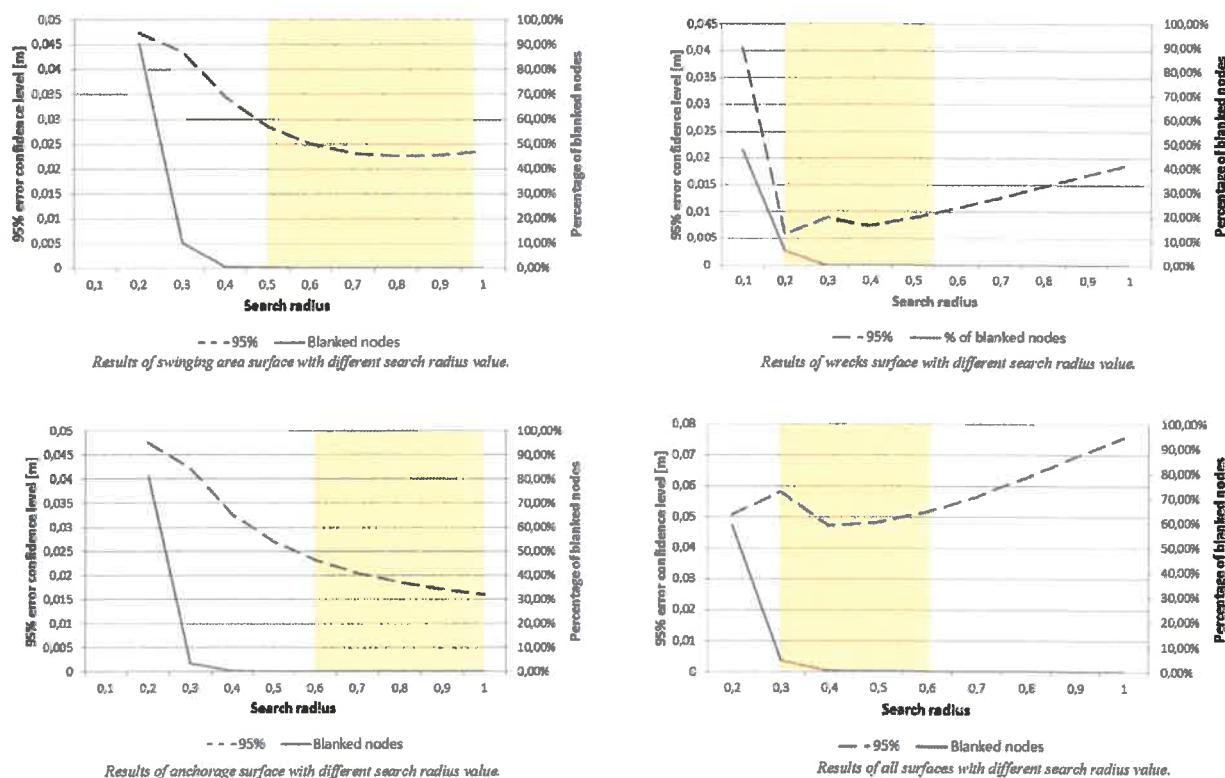
Jak wykazano w pracy *Interpolation Methods and the Accuracy of Bathymetric Seabed Models Based on Multibeam Echosounder Data* [4.B poz. 8] do trzech najlepszych metod interpolacyjnych stosowanych w tworzeniu DTM na podstawie danych pochodzących z MBES należą: *kriging*, *inverse distance to a power* oraz *moving average*. Moje dalsze badania ukierunkowane były na modyfikację dwóch z trzech wymienionych powyżej metod (tj. *moving average* oraz *kriging*). Celem tej modyfikacji było uzyskanie dokładniejszych modeli przy takim samym lub krótszym czasie obliczeń.

W pracy *Moving average optimization in digital terrain model generation based on test multibeam echosounder data* [4.B poz. 3] przedstawiłem wyniki badań związanych z optymalizacją metody *moving average* stosowanej w procesie tworzenia DTM dna morskiego. Jej celem było dopasowanie parametrów interpolacji tak, aby uzyskać możliwie największą dokładność tworzonych modeli. Ponieważ badana metoda jest z natury bardzo szybka, czas obliczeń był w tym przypadku drugorzędny. Punktem odniesienia dla otrzymanych wyników były badania opisane w pracy [4.B poz. 8], w których użyto standardowych parametrów interpolacji, wykorzystywanych w systemach GIS, a także te same powierzchnie testowe.

<sup>26</sup> M. Yanalak, *Effect of gridding method on digital terrain model profile data based on scattered data*. "Journal of Computing in Civil Engineering", 2003, Volume: 17, Issue: 1, Pages: 58-67.

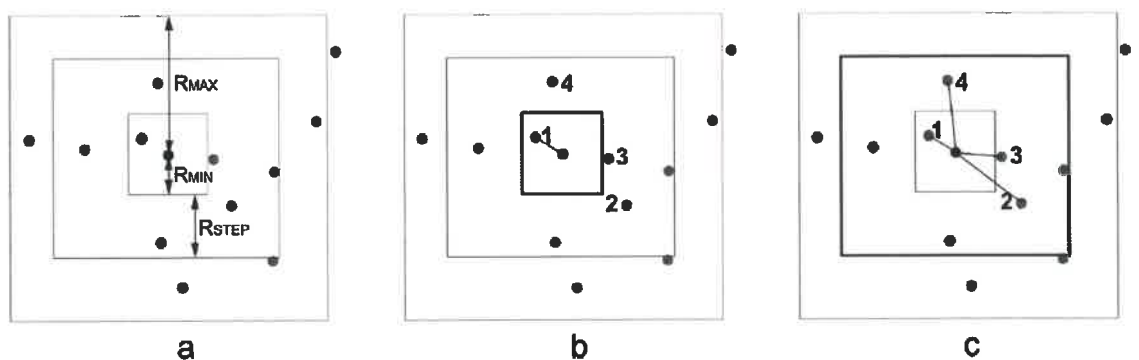


W ramach przeprowadzonych eksperymentów przygotowano różnorodne warianty tej metody zależne od: rozmiaru ramki (*search radius*), minimalnej wymaganej liczby punktów interpolacji, stałej liczby punktów interpolacji, wykorzystania metod wygładzających. Przeprowadzone badania wykazały, że najwyższą dokładność modelu otrzymujemy, gdy rozmiar ramki (*search radius*) jest jak najmniejszy, a liczba punktów pomiarowych biorących udział w interpolacji lokalnej wynosi od 2 do 5. Przykładowe uzyskane wyniki prezentuje Rysunek 11.



**Rysunek 11.** Wpływ rozmiaru ramki w interpolacji „moving average” na dokładność modelu

Ponieważ typowy, stosowany w rozwiązaniach komercyjnych, algorytm interpolacji bierze pod uwagę stałą wielkość ramki, a nie liczbę najbliższych punktów pomiarowych, zaproponowałem zastosowanie odmiennego podejścia w doborze punktów biorących udział w interpolacji. Metodę tę nazwałem *growing radius* (Rysunek 12). W praktyce, ramka interpolacji dobierana jest tak, aby pozyskać optymalną ilość najbliższych punktów pomiarowych, zapewniających wysoką dokładność tworzego modelu. Jej zastosowanie (jak wykazały badania testowe) umożliwiło zwiększenie dokładności modelu średnio o 23%.



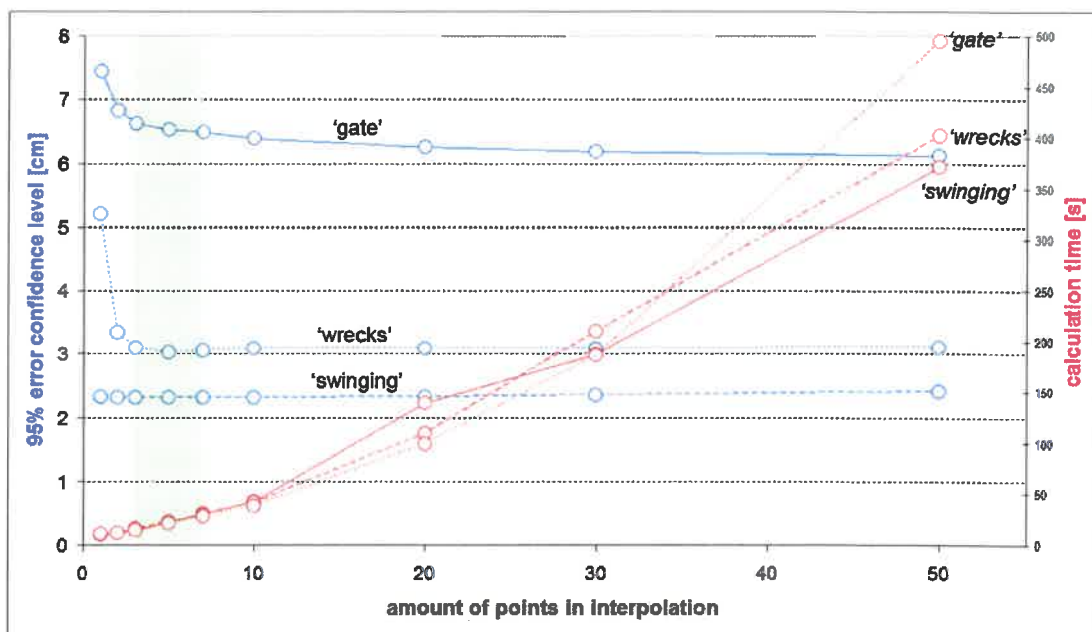
Rysunek 12. Wizualizacja zasady działania algorytmu „growing radius”

W pracy *Kriging method optimization for the process of DTM creation based on huge data sets obtained from MBES* [4.B poz. 1] opisałem badania związane z optymalizacją metody interpolacyjnej *kriging*. Także w tych badaniach poszukiwano parametrów interpolacji, tak aby uzyskać największą dokładność tworzonego modelu oraz znaczne przyspieszenie obliczeń, co w przypadku dość powolnego algorytmu *kriging* ma istotne znaczenie.

W przeprowadzonych badaniach sprawdzono, jaki wpływ na dokładność modelu oraz szybkość obliczeń ma rozmiar ramki interpolacji (*search radius*), minimalna liczba punktów interpolacji, zastosowanie lokalnych metod wygładzających. Na podstawie przeprowadzonych badań wyciągnięto następujące wnioski:

- wielkość *search radius* nie ma istotnego wpływu na dokładność modelu,
- zbyt mały *search radius* skutkuje powstawaniem wielu pustych węzłów (*blank nodes*), co uniemożliwia stworzenie prawidłowego modelu,
- zwiększanie wartości *search radius* powoduje znaczny wzrost czasu obliczeń,
- liczba punktów pomiarowych biorących udział w procesie interpolacji tylko nieznacznie wpływa na dokładność tworzonego modelu, z wyjątkiem gdy jest ich zbyt mało (mniej niż 3),
- na szybkość wykonywania obliczeń największy wpływ ma wielkość *search radius* w powiązaniu z ilością punktów pomiarowych biorących udział w interpolacji.

Przykładowe wyniki obrazujące wpływ ilości punktów pomiarowych biorących udział w interpolacji z wykorzystaniem metody *kriging* na dokładność modelu oraz szybkość jego tworzenia prezentuje Rysunek 13.



Rysunek 13. Wpływ liczby punktów biorących udział w interpolacji 'kriging' na dokładność i szybkość tworzenia modelu

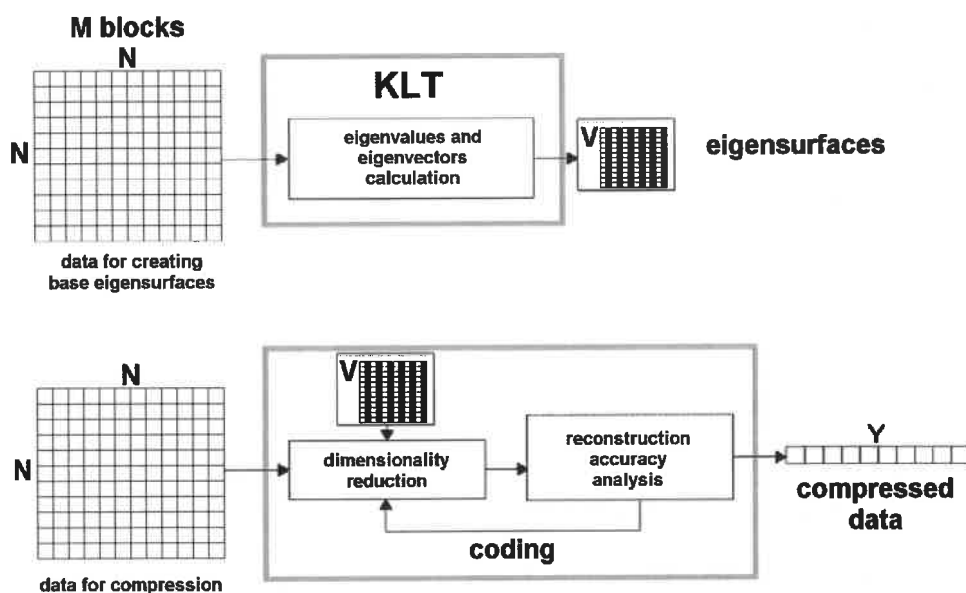
Także w tym przypadku zastosowanie autorskiej metody *growing radius*, polegającej na powiększającej się ramce tak, aby znaleźć optymalną liczbę punktów interpolacji, przyniosło zwiększenie dokładności tworzonych modeli o 5%, przy jednoczesnym ok. trzykrotnym przyspieszeniu obliczeń.

W obu opisanych powyżej przypadkach zaproponowałem hipotezę, że metodę interpolacji *moving average* oraz *kriging* można udoskonalić, eliminując ustalony stały rozmiar *search radius*, a stosując w zamian autorską metodę *growing radius*, skupiając się tym samym na kilku najbliższych punktach pomiarowych. Zmodyfikowane metody interpolacji mogą być wykorzystane w oprogramowaniu GIS do tworzenia powierzchni *grid* na podstawie dużych zbiorów danych pomiarowych (nie tylko pochodzących z MBES).

### Kompresja DTM z wykorzystaniem metody KLT

W pracy *Evaluation of KLT method for controlled lossy compression of high-resolution seabed's DTM* [4.B poz. 4], przy współpracy z dr. inż. Piotrem Czapiewskim, opisałem zmodyfikowaną metodę kompresji stratnej DTM, opierając się na siatce *grid* i wykorzystując metodę KLT. Opracowując stratne metody kompresji danych opisujących DTM dna morskiego, musimy wziąć pod uwagę odmienne właściwości tych danych, dopasowanie metody do specyfiki zadania, znaczną ilość danych poddawanych redukcji oraz, co najważniejsze, wymagania co do dokładności rekonstrukcji modelu. Większość używanych metod kompresji w grafice rastrowej

posiada najczęściej określony, stały dla danego obrazu, stopień kompresji (np. JPEG, ale wyjątkiem może tu być JPEG 2000). W opracowanej przeze mnie metodzie stopień kompresji jest dobierany adaptacyjnie dla każdego z bloków danych tak, aby zapewnić możliwie największy stopień redukcji danych, przy zachowaniu określonej przez użytkownika dokładności odwzorowania (Rysunek 14). Dzięki temu możemy zagwarantować wysoką dokładność modelu (a co za tym idzie, być zgodni z normami IHO), uzyskując możliwie wysoki stopień kompresji. Ponieważ powierzchnia dna morskiego jest z natury dość płaska, a gwałtowne zmiany głębokości czy uskoki są rzadkością, także inne parametry i właściwości opracowywanej metody kompresji zostały zmodyfikowane w celu jej lepszego dopasowania. W wyniku badań eksperymentalnych ustalono, że elementarny blok danych poddawany kompresji wynosi 32x32 punkty. Metoda została także dostosowana do kompresji danych o głębokości (liczby rzeczywiste, a nie całkowite, jak to jest w przypadku obrazów). W klasycznym przekształceniu Karhunen-Loevego (KLT) wykorzystujemy wektory własne macierzy autokowariancji (*eigenvectors*). W opracowywanej metodzie stworzono algorytm wyznaczania powierzchni własnych (*eigensurfaces*), które są obliczane na podstawie dużej ilości powierzchni rzeczywistych o różnej rozdzielczości i różnorodności ukształtowania (a nie wyłącznie powierzchni poddawanej kompresji). Te uniwersalne powierzchnie własne umożliwiły lepsze dopasowanie metody do charakteru danych. Uzyskane wyniki wykazały dużą skuteczność metody, a stopień kompresji uzależniony jest od ustawionej dokładności rekonstrukcji modelu i ukształtowania powierzchni (uzyskano stopień kompresji od 5:1 do 100:1).



Rysunek 14. Ogólny schemat opracowanej metody kompresji z wykorzystaniem przekształcenia KLT

Do najważniejszych cech opracowanej metody możemy zaliczyć:

- zastosowanie stratnej metody kompresji opartej na przekształceniu KLT,
- kompresja danych z dokładnością określoną przez operatora (w sposób bezwzględny, np. 3 cm),
- siła kompresji dobierana adaptacyjnie dla różnych podobszarów niezależnie (uzyskujemy maksymalny stopień kompresji przy zadanej dokładności),
- przechowywanie szczegółowej informacji o kształcie obrysu powierzchni oraz ewentualnych „dziurach”,
- możliwość szybkiej rekonstrukcji dowolnego fragmentu powierzchni,
- ze względu na blokową konstrukcję algorytmu istnieje możliwość dodawania, uaktualniania i usuwania wybranych fragmentów powierzchni.

Niezwykle trudno jest porównać uzyskane w badaniach wyniki z tymi publikowanymi przez innych autorów. W pracach tych kompresowane dane są opisane z wykorzystaniem różnorodnych struktur (obrazy rastrowe, *grid*, TIN)<sup>27</sup>, obejmują różne obszary (ze względu na formę ukształtowania), a modele tworzone są na podstawie danych pochodzących z różnych urządzeń<sup>28</sup>. Wszystkie te parametry mają istotny wpływ na uzyskiwane rezultaty.

Przykładowo w pracy pt. *Evaluation of JPEG-LS, the new lossless and controlled-lossy still image compression standard for compression of high-resolution elevation data*<sup>29</sup> opisano kompresję modelu wysokościowego powierzchni lądowej z wykorzystaniem algorytmu JPEG-LS. Uzyskano stopień kompresji na poziomie od 4:1 do 45:1, w zależności od danych testowych, dokładności rekonstrukcji oraz wariantu użytego algorytmu.

---

<sup>27</sup> G. Scarmana, *Lossless data compression of grid-based digital elevation models. A PNG image format evaluation*, ISPRS „Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences” 2014, vol. II-5; M. Owen, M. Grigg, *The compression of Digital Terrain Elevation Data (DTED) using JPEG2000*, DSTO Information Sciences Laboratory, Australia 2004; J.T. Bjørke, S. Nilsen, *Efficient representation of digital terrain models. Compression and spatial de-correlation techniques*, „Computer & Geosciences” 2002, vol. 28, pp 433-445; D. Kidnera, D.H. Smith, *Advances in the data compression of digital elevation models*, „Computers & Geosciences” 2003, vol. 29, iss. 8, pp 985-1002.

<sup>28</sup> M. Isenburg, P. Lindstrom, J. Snoeyink, *Lossless compression of floating-point geometry*, International CAD conference and Exhibition. CAD-2004, Pattaya, Thailand 2004; F. Remondino, *From point cloud to surface. The modeling and visualization problem*, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXIV-5/W10, International Workshop on Visualization and Animation of Reality-based 3D Models, 24-28 February, Switzerland 2003; B. Pradhan et al., *Light Detection and Ranging (LiDAR) data compression*, KMITL Sci. Tech. 2005, vol. 5, no. 3.

<sup>29</sup> S.D. Rane, G. Sapiro, *Evaluation of JPEG-LS, the new lossless and controlled-lossy still image compression standard for compression of high-resolution elevation data*, IEEE „Transactions on Geoscience and Remote Sensing” 2001, vol. 39, no. 10.

Opracowana metoda kompresji dopasowana jest zarówno do charakteru danych (ilość, zmienność, sposób opisu), dokładności wynikających z norm IHO, jak i aspektów praktycznych związanych z reprezentacją DTM w systemach GIS. Metodę tą po ewentualnych modyfikacjach można zaadoptować do kompresji innego rodzaju danych zgromadzonych w siatkach *grid* (np. dane terenowe, dane wysokościowe, rozkłady temperatury, hałasu, zanieczyszczeń i inne).

### Multiresolution grid

Model batymetryczny oparty na strukturze *grid* w wysokiej rozdzielczości zapewnia dużą dokładność, a prosta w budowie struktura umożliwia stosowanie szybkich algorytmów przetwarzania i wizualizacji. Wadą takiej struktury jest objętość danych w niej przechowywanych. Przykładowo opisanie 1 km<sup>2</sup> powierzchni dna za pomocą siatki *grid* o rozmiarze 0,5 m to 4 mln punktów węzłowych, zajmujących ok. 15 MB pamięci. Drugą niepożądaną cechą takiego modelu jest fakt, że wszystkie podobszary opisywane są za pomocą siatki o takiej samej gęstości, niezależnie od ukształtowania lub występujących w danym miejscu głębokości. Zwiększenie dokładności modelu możliwe jest jedynie poprzez zwiększenie rozmiaru *grid*, a to skutkuje zdecydowanym zwiększeniem ilości przechowywanych danych<sup>30</sup>.

W pracy *A Multiresolution Grid Structure Applied to Seafloor Shape Modeling* [4.B poz. 2] wraz z współautorami przedstawiłem nowe podejście w tworzeniu DTM, w którym możliwy jest opis powierzchni z wykorzystaniem siatki *grid* o zmiennej gęstości (strukturę tę nazwałem *multiresolution grid*). Przyjętym kryterium, decydującym o zmianie gęstości opisu danych, jest skok głębokości w analizowanym podobszarze. Dzięki takiemu podejściu miejsca charakteryzujące się niewielkimi zmianami głębokości zostaną opisane za pomocą mniejszej liczby danych (mała gęstość siatki), a tam gdzie te zmiany są większe lub bardziej gwałtowne, gęstość siatki będzie większa. Przykładowy wygląd struktury *multiresolution grid* prezentuje Rysunek 15.

Wykorzystywanie struktur o zmiennej gęstości nie jest pomysłem nowym. Tego typu rozwiązania stosuje się już powszechnie w wielu dziedzinach grafiki komputerowej i wizualizacji, np. technika *level-of-detail* (LOD)<sup>31</sup> czy opis obiektów 3D<sup>32</sup>. W pracy *Hierarchical grid*

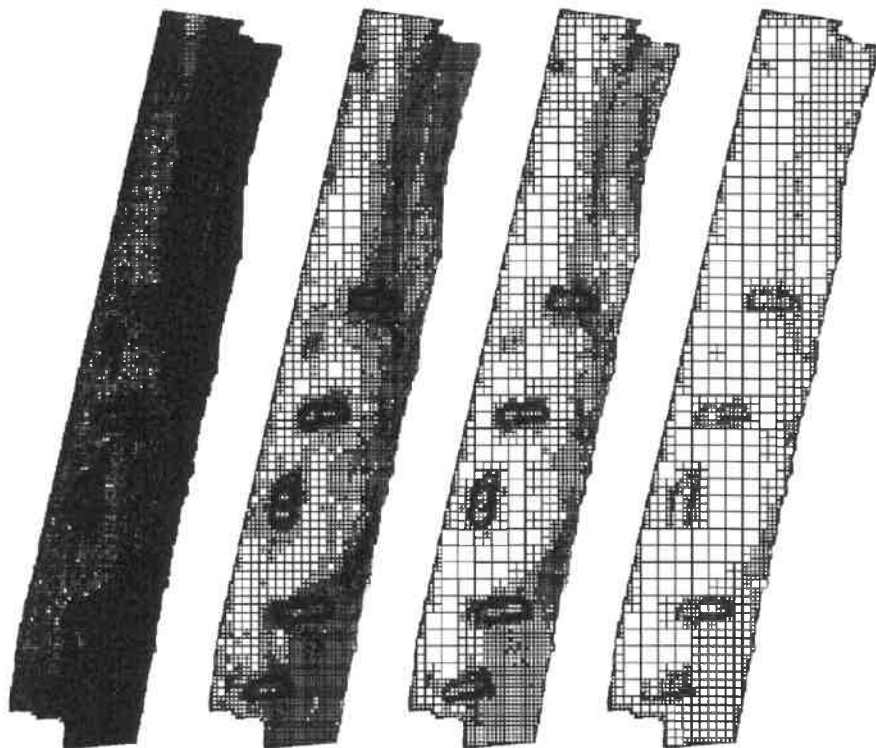
---

<sup>30</sup> W. Maleika, *The influence of the grid resolution on the accuracy of the digital terrain model used in seabed modeling*, „Marine Geophysical Research” 2015, vol. 36, iss. 1, pp 35-44.

<sup>31</sup> E. Danovaro et al., *Level-of-detail for data analysis and exploration. A historical overview and some new perspectives*, „Comput Graph” 2006, vol. 30(3), pp 334-344.

<sup>32</sup> A. Mahdavi-Amiri, F. Samavati, *Atlas of connectivity maps*, „Computers & Graphics” 2014, vol. 39, Elsevier Ltd., pp 1-11.

*conversion*<sup>33</sup> opisano wykorzystanie hierarchicznych *grid* do opisu modelu terenu. W pracy *A variable resolution right TIN approach for gridded oceanographic data*<sup>34</sup> opisano podział modelu opartego na siatce TIN w zależności od stopnia pofałdowania powierzchni. Nasze rozwiązanie cechuje nieco odmienne podejście, dodatkowo związane z zapewnieniem określonej przez operatora dokładności modelu, co jest niezwykle ważne przy tworzeniu modeli batymetrycznych. Prace te są rozwojowe. W chwili obecnej została już opracowana przeze mnie bardziej złożona metoda podziału siatki *grid*, gdzie oprócz różnicy głębokości automatycznie wykrywane są lokalne zmiany ukształtowania powierzchni (w oparciu o analizę drugiej pochodnej oraz analizę widma) i to na jej podstawie dokonywany jest podział na podprzestrzenie o różnej gęstości. Artykuł w którym opisałem te badania jest w chwili obecnej w trakcie recenzji w czasopiśmie z listy JCR.



**Rysunek 15.** Wizualizacja multiresolution *grid* dla powierzchni „wraki” ( $PE=1, 5, 10$  i  $25$  cm)

Stosowanie siatek *grid* o zmiennej gęstości umożliwia dokładniejszy opis powierzchni w podobszarach charakteryzujących się dużą zmiennością ukształtowania. Gęstość siatki *grid* dopasowuje się w takim przypadku do „urozmaicenia” występujących na powierzchni form ukształtowania. Z kolei w podobszarach w których powierzchnia jest mało urozmaicona, następuje

<sup>33</sup> A. Mahdavi-Amiri, E. Harrison, F. Samavati, *Hierarchical grid conversion*, „Computer-Aided Design” 2016, vol. 79, Elsevier B.V., s. 12-26; K. Weiss, L. de Floriani, *Simplex and diamond hierarchies. Models and applications*, „Comput Graph Forum” 2011, vol. 30(8), pp 2127-2155.

<sup>34</sup> D. Marks, et al., *A variable resolution right TIN approach for gridded oceanographic data*. “Computers and Geosciences” 109 (2017), pp. 59–66.

znaczna redukcja danych opisujących ten obszar. Dopuszczalny stopień utraty informacji (w procesie upraszczania siatki *grid*) określany jest przez użytkownika, co umożliwia łatwą kontrolę dokładności tworzonego modelu.

### **Planowane dalsze badania**

Pojawiające się trendy i najnowsze publikacje wskazują, że do opisu danych przestrzennych, a w szczególności cyfrowych modeli terenu, coraz częściej wykorzystuje się struktury niejednorodne<sup>35</sup>. Większość badań ukierunkowanych jest na struktury oparte o niejednorodny *grid* (*multiresolution grid*), ale szybko rozwijające się algorytmy graficzne oraz istniejące rozwiązania sprzętowe zachęcają do „przyjrzenia się” modelom opartym o siatkę TIN, co będzie dalszym kierunkiem moich prac.

### **Podsumowanie najważniejszych osiągnięć oraz możliwości ewentualnego wykorzystania badań**

Do najważniejszych osiągniętych wyników przedstawionych w publikacjach wchodzących w skład jednotematycznego cyklu zaliczam:

1. Opracowanie metody, a następnie stworzenie systemu „wirtualny sondaż”, umożliwiającego symulację przebiegu sondaży morskich oraz generowanie testowych zbiorów danych, odzwierciedlających rzeczywiste pomiary sondażowe (z wykorzystaniem urządzenia MBES).

**Opracowane oprogramowanie jest nowym, użytecznym i wszechstronnym narzędziem badawczym, które pozwala na generowanie wysokiej jakości danych testowych, umożliwiających badanie dokładności tworzonych modeli DTM.**

2. Opracowanie metody ułatwiającej analizę dokładności rzeczywistych danych pomiarowych pochodzących z MBES. Wyniki otrzymane z szerokich badań (ponad 2 mln linii sondażowych, 180 mln punktów) umożliwiły stworzenie dodatkowego modułu „generator szumów” w programie „wirtualny sondaż”, co zwiększyło poprawność symulowania urządzenia MBES.

---

<sup>35</sup> S. Jain, P. Tsiotras, H.M. Zhou, *A Hierarchical Multiresolution Adaptive Mesh Refinement for The Solution of Evolution Pdes*. Siam Journal on Scientific Computing, Volume: 31, Issue: 2, Pages: 1221-1248. D. Iordan, D. C. Docan, *Quality Assessment of Digital Terrain Model Derived from Lidar*. *Geoconference on Informatics, Geoinformatics And Remote Sensing*, Vol III, Book Series: International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM, 2014, Pages: 793-798



**Wykorzystanie tej metody przez instytucje i firmy zajmujące się pomiarami sondażowymi umożliwia w szybki i automatyczny sposób ocenę dokładności pomiarów morskich.**

3. Opracowanie metod pozwalających na badanie dokładności tworzonych DTM dna morskiego w zależności od gęstości i rozkładu punktów pomiarowych.

**Na podstawie opublikowanych wyników badań instytucje oraz firmy zajmujące się pomiarami hydrograficznymi mogą w łatwy sposób dokonać optymalizacji czasu i kosztów wykonywania sondaży, przy zachowaniu określonej dokładności tworzonych modeli.**

4. Opracowanie metody pozwalającej na precyzyjne badanie wpływu użytych metod interpolacyjnych na dokładność tworzonych DTM dna morskiego. Przeprowadzone szerokie badania w tym zakresie umożliwiły stworzenie „rankingu” metod interpolacji.
5. Optymalizacja metody *moving average* w procesie tworzenia DTM z wykorzystaniem danych pochodzących z MBES. Dopasowanie metody do charakterystyki danych pomiarowych umożliwiło zwiększenie dokładności tworzonych modeli.

**Implementacja stworzonej metody w programach hydrograficznych i GIS umożliwia zwiększenie dokładności tworzonych modeli.**

6. Optymalizacja metody *kriging* w procesie tworzenia DTM z wykorzystaniem danych pochodzących z MBES. Dopasowanie metody do charakterystyki danych pomiarowych umożliwiło znaczne przyspieszenie działania algorytmu, przy jednoczesnym niewielkim zwiększeniu dokładności tworzonych modeli.

**Implementacja stworzonej metody w programach hydrograficznych i GIS umożliwia znaczne zwiększenie szybkości obliczeń przy dodatkowym, niewielkim wzroście dokładności tworzonych modeli.**

7. Opracowanie stratnej metody kompresji bazującej na przekształceniu KLT, dopasowanej do charakterystyki danych i wymagań co do dokładności tworzonych modeli.

**Wykorzystanie w programach hydrograficznych i GIS opracowanej metody kompresji danych zgromadzonych w siatkach *grid* umożliwi znaczną redukcję przechowywanych**

(i przesyłanych) danych, przy zachowaniu kontrolowanej wysokiej dokładności modelu.

8. Opracowanie struktury *multiresolution grid*, umożliwiającej niejednorodny opis modeli batymetrycznych, spełniającej wysokie wymagania co do dokładności tworzonych modeli.

**Rozwinięta, dopracowana i zaimplementowana struktura *multiresolution grid* to nowe podejście i sposób opisu DTM w systemach GIS.**

Reasumując: badania, opracowane metody komputerowe oraz uzyskane wyniki związane z przetwarzaniem danych pomiarowych pochodzących z MBES, tworzeniem DTM (w oparciu o strukturę *grid*), oraz kompresją tych modeli stwarzają szerokie możliwości dalszego rozwoju systemów GIS. Ważny jest w tym wypadku także aspekt praktyczny, łatwość implementacji opracowanych algorytmów oraz ich dopasowanie do realiów występujących w trakcie wykonywania prac sondażowych.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

### Ilościowa wizualizacja danych pomiarowych pochodzących z MBES

Ocena gęstości i pokrycia dna punktami pomiarowymi pochodzącymi z MBES jest niezwykle istotna z punktu widzenia oceny prawidłowości wykonanego sondażu morskiego. Jest też ona określona przez normy IHO (obszar przeszukiwania dna morskiego dla klasy specjalnej powinien zapewnić wykrywanie obiektów o objętości 1 m<sup>3</sup>). Współczesne oprogramowanie hydrograficzne lub GIS umożliwiają wizualizację punktów pomiarowych, ale stosowane są w nich zazwyczaj najprostsze metody obrazowania, polegające na ustawieniu dla każdego punktu pomiarowego odpowiadającego mu piksela w obrazie wynikowym. Ponieważ dane pomiarowe zawierają ogromną ilość danych (miliony punktów), otrzymany obraz przedstawia zazwyczaj jednolity obszar pomiaru (Rysunek 16a). Dopiero znaczne powiększenie jego fragmentu (Rysunek 16b) ukazuje rozkład punktów pomiarowych na powiększonym obszarze. Jest on jednak trudny do interpretacji.

W pracy *Visualisation of multibeam echosounder measurement data*<sup>36</sup>, przy współpracy z dr. inż. Piotrem Czapiewskim zaproponowałem dwie nowe metody wizualizacji tego typu danych, które w prosty i szybki sposób przedstawiają informację o rozkładzie punktów pomiarowych oraz ich gęstości, a także pokazują obszary, w których wymagane normy nie są spełnione.

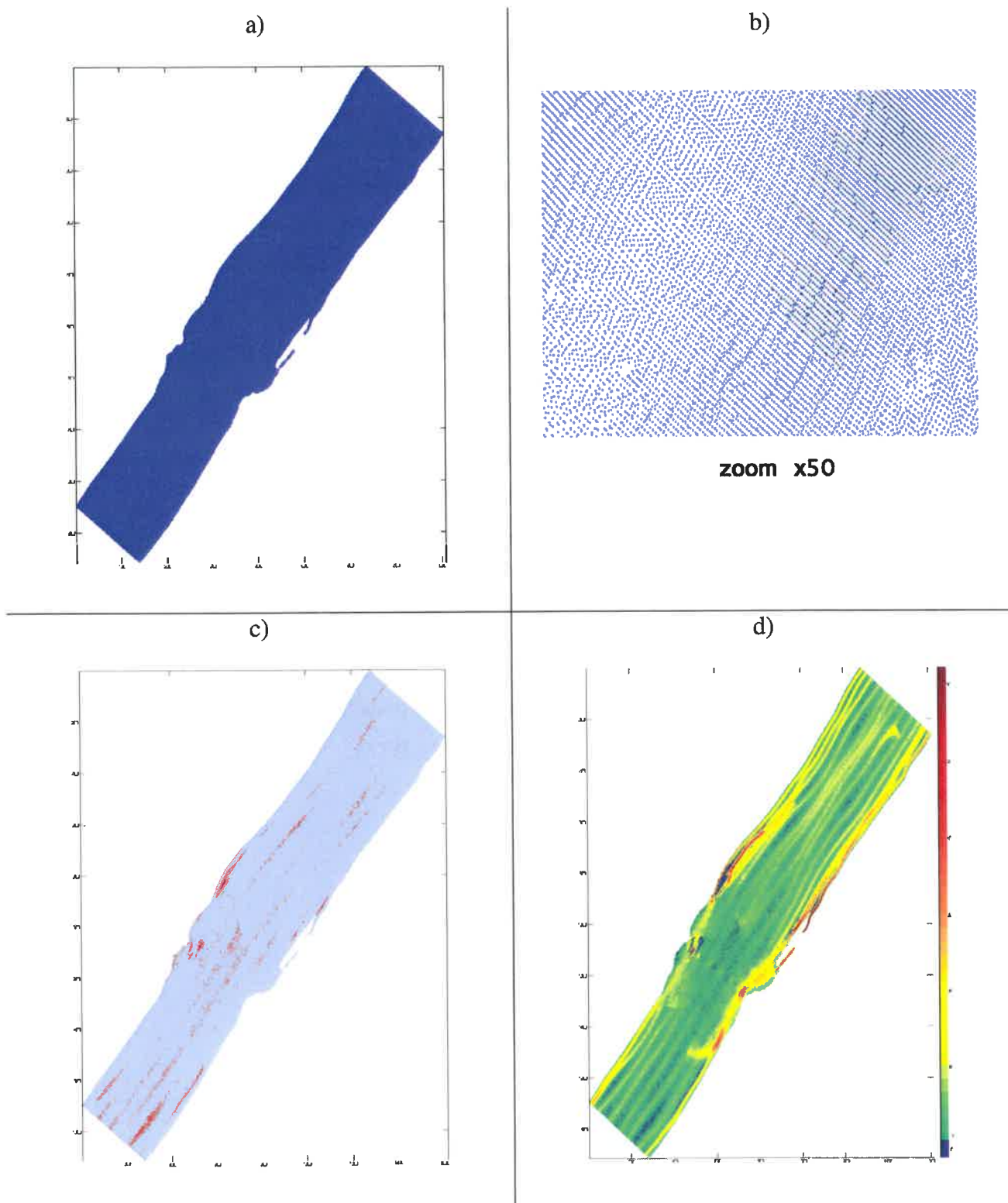
W pierwszej opisanej metodzie celem wizualizacji jest wyraźne wskazanie obszarów, które nie spełniają ustalonych norm co do minimalnej gęstości punktów pomiarowych (wartość ustalana przez operatora). Przykładową wizualizację opracowanej metody przedstawia Rysunek 16c. Druga z opracowanych i opisanych w pracy metod wizualizacji umożliwia dokładniejszą ocenę rozkładu gęstości zebranych punktów pomiarowych. W tym przypadku kolor piksela odpowiada liczbie punktów pomiarowych, przypisanych do poszczególnych węzłów siatki *grid*, dzięki czemu uwzględniamy nie tylko fizyczną gęstość punktów, ale też rozdzielczość tworzonego modelu (przykładowa wizualizacja na Rysunku 16d).

Warto podkreślić, że oba opracowane algorytmy w procesie wizualizacji biorą pod uwagę przede wszystkim rozmiar docelowej siatki *grid* modelu, a nie rozmiar obrazu wynikowego, dzięki czemu nie następuje uśrednianie lub utrata informacji (co ma miejsce w przypadku typowych wizualizacji).

Opracowane metody umożliwiają użytkownikom systemów hydrograficznych oraz GIS dużo łatwiejszą wizualną analizę ilościową danych pomiarowych, co ma bezpośredni wpływ na precyzyjniejsze szacowanie dokładności tworzonych modeli DTM.

---

<sup>36</sup> W. Maleika, P. Czapiewski, *Visualisation of Multibeam Echosounder Measurement Data*, [in:] Maji P., Ghosh A., Murty M.N., Ghosh K., Pal S.K. (eds.), "Pattern Recognition and Machine Intelligence", PReMI 2013, Lecture Notes in Computer Science, vol. 8251, Springer, Berlin, Heidelberg.



**Rysunek 16.** Różne metody wizualizacji punktów pomiarowych pochodzących z MBES: a) wizualizacja wykonana w programie Surfer 8.0, b) obszar powiększony 50-krotnie, c) pierwsza z opracowanych metod służąca do wykrywania obszarów niespełniających norm (punkty w kolorze czerwonym), d) druga z opracowanych metod – wizualizacja gęstości punktów pomiarowych (kolor niebieski – brak punktów, zielony – niska gęstość, czerwony – wysoka gęstość)

## Badanie i rozwój metod kompresji danych batymetrycznych (DTM) opisanych za pomocą struktury *grid*

Badania związane z rozwijaniem metod kompresji DTM dna morskiego zaowocowały większą liczbą publikacji prezentujących osiągnięte wyniki cząstkowe.

Metody kompresji stratnej bazują najczęściej na blokowym przetwarzaniu danych. Przykładowo w kompresji JPEG stosuje się bloki o rozmiarze 8x8 pikseli. Dane batymetryczne zgromadzone w siatce *grid* mają odmienną od obrazów charakterystykę. Zmiany na powierzchni są łagodne, a różnice pomiędzy sąsiednimi węzłami siatki niewielkie. Zasadna wydaje się teza, że zwiększenie rozmiaru bloku kompresowanych danych umożliwi uzyskanie wyższego stopnia kompresji, przy tej samej dokładności rekonstruowanego modelu. W pracy *Kompresja danych opisujących powierzchnię dna wykorzystująca KLT*<sup>37</sup> opisałem badania związane z doбором rozmiaru ramki kompresji (w kompresji z wykorzystaniem transformaty KLT). Na podstawie badań testowych zdecydowano, że optymalny rozmiar bloku danych wynosi 32x32 punkty (badania prowadzone wspólnie z dr. inż. Pawłem Forczmańskim).

W pracy *Selecting eigenvectors in compression of data describing sea bottom by means of KLT*<sup>38</sup> opisałem autorski sposób wyznaczania wektorów własnych na potrzeby kompresji danych batymetrycznych, z wykorzystaniem metody KLT. Opracowane uniwersalne zestawy powierzchni własnych (*eigensurfaces*) umożliwiły dalsze zwiększenie stopnia kompresji danych, przy zachowaniu tej samej dokładności rekonstruowanego modelu (definiowanej przez operatora systemu).

Dane batymetryczne opisane w strukturze *grid* (która jest prostokątem) nie zawsze wypełniają wszystkie węzły siatki. Tworzone modele powierzchni dna mogą mieć dowolny kształt, a nawet zawierać wewnętrzne dziury (brak danych batymetrycznych w podobszarze). Informację o zasięgu powierzchni (linii brzegowej) należy przechowywać wraz z modelem z możliwie największą dokładnością. Także w przypadku kompresji DTM dna morskiego należy uwzględnić tę istotną właściwość. W pracy *Problem brzegowy w kompresji danych opisujących kształt powierzchni dna morskiego*<sup>39</sup> przedstawiłem sposób opisu/zapisu informacji o linii brzegowej

---

<sup>37</sup> P. Forczmański, W. Maleika, *Kompresja danych opisujących powierzchnię dna wykorzystująca KLT*, VIII Konferencja Morska: Aspekty Bezpieczeństwa Nawodnego i Podwodnego oraz Lotów nad Morzem, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia 2005, s. 203-214.

<sup>38</sup> W. Maleika, *Selecting eigenvectors in compression of data describing sea bottom by means of KLT*, In proceedings of XIVth International Scientific and Technical Conference, the Part of Navigation in Support of Human Activity on the Sea, pp 551-557, Naval University of Gdynia, Gdynia 2004.

<sup>39</sup> W. Maleika, *Problem brzegowy w kompresji danych opisujących kształt powierzchni dna morskiego*, „Roczniki Informatyki Stosowanej Wydziału Informatyki Politechniki Szczecińskiej” 2005, nr 8, „Metody informatyki stosowanej w technice i technologii”, pp 425-432.

w kompresji stratnej danych batymetrycznych. Dane te są zapisywane bezstratnie z wykorzystaniem dodatkowej mapy bitowej opisującej zasięg danych.

Algorytm kompresji stratnej danych batymetrycznych pracuje na blokach 32x32 punkty. Podobnie jak w kompresji obrazów, na stykach tych bloków dochodzi do nieznacznych zniekształceń (mieszczących się w przyjętych normach). W artykule pt. *Problem efektu stykowego w kompresji danych opisujących kształt powierzchni dna morskiego*<sup>40</sup> opisałem autorską metodę redukcji tego typu zniekształceń, poprzez zastosowanie ramek nachodzących na siebie. Zastosowanie opracowanej metody skutkuje nieco niższym stopniem kompresji, ale w znaczny sposób niweluje zniekształcenia powstające na krawędziach bloków.

Kolejne prace rozwojowe nad algorytmami kompresji stratnej (opartych na przekształceniu DCT i KLT) umożliwiły ich udoskonalenie, a w szczególności przyspieszenie szybkości obliczeń. Wyniki tych zmian opublikowałem w pracach *Efficient compression of sea floor data stored in grid structure*<sup>41</sup> oraz *Lossless compression of data describing sea floor stored in a grid structure*<sup>42</sup>.

Innym osiągnięciem w tym obszarze było opracowanie przy współpracy z dr. inż. Pawłem Forczmańskim algorytmu predykcji liczby współczynników DCT, biorących udział w kompresji bloku danych. W opracowanym algorytmie użyte zostały proste cechy statystyczne i wybrane klasyfikatory. Algorytm oraz wyniki badań zostały opisane w pracy *Predicting the number of DCT coefficients in the process of seabed data compression*<sup>43</sup>.

Podobne metody zostały zaimplementowane w algorytmie kompresji stratnej bazującej na przekształceniu KLT. W pracy *Near-lossless PCA-based compression of seabed surface with prediction*<sup>44</sup>, wspólnie z dr. inż. Pawłem Forczmańskim, zaprezentowałem autorską metodę przyspieszenia algorytmu kompresji, dzięki zastosowaniu mechanizmu predykcji liczby komponentów, na podstawie nauczonego klasyfikatora i zestawu bloków uczących. W ten sposób algorytm kompresji nie startuje od maksymalnej liczby komponentów przekształcenia KLT, ale od liczby przewidzianej przez klasyfikator, a dalsze działanie jest ukierunkowane na korekcję tej liczby (przeszukiwanie w otoczeniu tej liczby).

---

<sup>40</sup> W. Maleika, *Problem efektu stykowego w kompresji danych opisujących kształt powierzchni dna morskiego*, „Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie” 2006, nr 11(83), IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, s. 204-210.

<sup>41</sup> P. Forczmański, W. Maleika, *Efficient compression of sea floor data stored in grid structure*, „Polish Journal of Environmental Studies” Olsztyn 2006, vol. 15, no. 4B, HARD Publishing Company, pp 108-112, ISSN 1230-1485.

<sup>42</sup> W. Maleika, *Lossless compression of data describing sea floor stored in a grid structure*, „Polish Journal of Environmental Studies” Olsztyn 2007, vol. 16, no. 4A, HARD Publishing Company Olsztyn 2007.

<sup>43</sup> P. Forczmański, W. Maleika, *Predicting the number of DCT coefficients in the process of seabed data compression*, 16th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns CAIP 2015, Valetta, Malta, LNCS 9256, pp 77-87.

<sup>44</sup> P. Forczmański, W. Maleika, *Near-lossless PCA-based compression of seabed surface with prediction*, Materiały konferencji 12th International Conference on Image Analysis and Recognition (ICIAR 2015), Lecture Notes in Computer Science 9164, pp 119-128.

## **Badanie i rozwój metod kompresji plików pomiarowych (pochodzących z MBES)**

W swoich badaniach rozwijałem także metody umożliwiające kompresję bezstratną plików tekstowych zawierających dane pomiarowe pochodzące z MBES. W pracy *Badanie bezstratnych metod kompresji danych opisujących kształt powierzchni dna morskiego*<sup>45</sup> opisałem metodę reorganizacji danych, znajdujących się w strukturze *grid*, umożliwiającą wydajniejszą kompresję bezstratną, z wykorzystaniem algorytmu ZIP i RAR. Analogiczne badania zostały następnie wykonane dla plików UTM, a uzyskane wyniki opisano w artykule *Lossless compression method for ASCII UTM format sea survey data obtained from multibeam echosounder*<sup>46</sup>.

## **Inne badania związane z metodami tworzenia DTM na podstawie danych pochodzących z MBES**

W pracy *Analiza danych pomiarowych echosondy wielowięzkowej Simrad EM3000*<sup>47</sup> zaprezentowałem wyniki badań dotyczące analizy dokładności pomiarów z użyciem MBES (Simrad EM3000), z kolei w artykule *Proposal of new data structures for the management of the multilayer seabed DTM*<sup>48</sup> przedstawiłem propozycję nowych struktur danych, które w odmienny sposób opisują DTM dna morskiego. Główną cechą zaproponowanych struktur jest ich wielowarstwowość, gdzie każda warstwa opisuje ten sam obszar z różną dokładnością (gęstością), a cała struktura obejmuje dowolny wycinek dna morskiego. Artykuł ten zawiera opis założeń i budowy takiej struktury, a także jej funkcjonalności oraz możliwości wykorzystania.

## **Inne prace badawcze**

W pracy zatytułowanej *Sterowanie aplikacjami edukacyjnymi na podstawie analizy obrazów pochodzących z kamery internetowej*<sup>49</sup>, napisanej wraz z moim dyplomantem (Małecki R.), opisałem autorski algorytm sterowania aplikacjami edukacyjnymi na podstawie analizy obrazów pochodzących z kamery internetowej. Istniejące algorytmy przetwarzania i rozpoznawania obrazu

<sup>45</sup> W. Maleika, *Badanie bezstratnych metod kompresji danych opisujących kształt powierzchni dna morskiego*, „Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie” 2005, s. 273-282.

<sup>46</sup> W. Maleika, P. Czapiewski, *Lossless compression method for ASCII UTM format sea survey data obtained from multibeam echosounder*, „Roczniki Geomatyki” 2014, vol. 12, pp 289-301.

<sup>47</sup> W. Maleika et al., *Analiza danych pomiarowych echosondy wielowięzkowej Simrad EM3000*, „Metody Informatyki Stosowanej” 2010, t. 25, nr 4, s. 55-64.

<sup>48</sup> W. Maleika, *Proposal of new data structures for the management of the multilayer seabed DTM*, „Scientific Journals Maritime University of Szczecin” 2014, vol. 38(110), pp 75-80.

<sup>49</sup> W. Maleika, R. Małecki, *Sterowanie aplikacjami edukacyjnymi na podstawie analizy obrazów pochodzących z kamery internetowej*, „Roczniki Informatyki Stosowanej Wydziału Informatyki Politechniki Szczecińskiej” 2006, nr 10, s. 95-102.

zostały dostosowane do pracy w czasie rzeczywistym. Poruszane w tym czasie (rok 2006) zagadnienia i opracowywane rozwiązania były dość nowatorskie.

Niewielka część moich zainteresowań badawczych dotyczyła szeroko rozumianego Internetu i e-commerce. W pracy *Semantic Data Description in Content Management Systems*<sup>50</sup> przedstawiłem możliwości stosowania semantycznego opisu danych w systemach zarządzania treścią (CMS). Wykorzystałem do tego tzw. mikroformaty, aby pozwolić wyszukiwarkom lepiej „rozumieć” strony HTML. W pracy *Opracowanie metody doboru reklamy na podstawie słów kluczowych oraz analizy zawartości strony internetowej*<sup>51</sup> przedstawiłem autorską metodę doboru reklamy na podstawie słów kluczowych oraz analizy kontentu strony internetowej. W kolejnej pracy *Opracowanie metody personalizacji reklamy na potrzeby portali finansowych*<sup>52</sup>, stworzonej wraz z moim dyplomantem, opisałem metody personalizacji reklamy na potrzeby portali finansowych.

Przez krótki okres zainteresowałem się badaniami związanymi z „czytaniem” obrazów medycznych. W artykule *Algorithm for creating three-dimensional models of internal organs based on computer tomography*<sup>53</sup> opisałem metodę tworzenia modeli obrazów trójwymiarowych na podstawie zdjęć z tomografu komputerowego. Obiekty 3D tworzone były na podstawie wykrywanych w kolejnych projekcjach krawędziach, które następnie przekształcane były do siatki trójkątów. Wspomniane badania nie były kontynuowane z uwagi na to, że poświęciłem się badaniom związanym z DTM .

## **Podsumowanie**

Łącznie po obronie pracy doktorskiej **opublikowałem 35 prac** (w tym 24 z listy czasopism punktowanych MNiSW, z czego 12 w wydawnictwach indeksowanych w bazie Web of Science, w tym 5 w czasopismach z bazy JCR). Otrzymuję również liczne prośby o recenzowanie artykułów związanych z tematyką przetwarzania oraz wizualizacji danych DTM (w tym z listy JCR).

**Indeks Hirscha**, wyznaczany dla publikacji indeksowanych w bazie WoS (cytowanych 109 razy, z czego 81 – bez autocytowań) wynosi 7. Indeks Hirscha, wyznaczany dla publikacji indeksowanych w bazie Google Scholar (cytowanych 181 razy) wynosi 8.

---

<sup>50</sup> W. Maleika, *Semantic data description in content management systems*, „Metody Informatyki Stosowanej” 2009, t. 20, nr 3, s. 123-130.

<sup>51</sup> W. Maleika, *Opracowanie metody doboru reklamy na podstawie słów kluczowych oraz analizy zawartości strony internetowej*, „Metody Informatyki Stosowanej” 2010, t. 22, nr 1, s. 99-111.

<sup>52</sup> W. Maleika, P. Stempiński, *Opracowanie metody personalizacji reklamy na potrzeby portali finansowych*, „Metody Informatyki Stosowanej” 2011, t. 29, nr 4, s. 251-258.

<sup>53</sup> W. Maleika, *Algorithm for creating three-dimensional models of internal organs based on computer tomography*. „Pomiary Automatyka Kontrola” 2010, vol. 56, nr12, pp 1474-1479.



Sumaryczny **Impact Factor** wyznaczony dla moich prac (zgodnie z wykazem dorobku) wynosi aktualnie 7,048.

W latach 2010-2012 kierowałem **projektem badawczym** finansowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (umowa nr 0730/B/T02/2010/38 do wniosku nr N N526 073038), tytuł grantu – *Badanie wpływu parametrów sondażu morskiego na dokładność uzyskanego modelu dna z użyciem symulatora echosondy wielowięzkowej*. Uzyskane wyniki zostały wykorzystane także w publikacjach wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego (artykuły 4.B poz. 6 i 7).

W latach 2013-2014 brałem udział w charakterze wykonawcy w realizacji **projektu badawczego** pt. *Zbudowanie prototypu innowacyjnego systemu rekomendacji zgodnych ze stylami użytkowników: FireStyle*. Projekt: POIG.01.04.00-30-196/12-00, współfinansowanym w ramach działania 1.4 Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007–2013, wartość projektu: 14 949 474 00 zł, udział Unii Europejskiej: 7 879 581 50 zł.

Za swoją działalność naukową zostałem **nagrodzony** w latach 2010, 2011 oraz 2015 indywidualną nagrodą Rektora Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, odpowiednio III, III i I stopnia.

Jako członek Komitetu Naukowego jestem **recenzentem prac** nadsyłanych na konferencje: Computer Vision and Graphics ICCVG (od 2012 roku) oraz Advanced Computer Systems ACS (od 2018 roku). Jestem także aktywnym recenzentem **artykułów do czasopism międzynarodowych**, w tym większość z listy JCR. Do chwili obecnej zrecenzowałem 17 artykułów.

### **Współpraca z instytucjami i ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą**

W latach 2004-2015 współpracowałem naukowo z **Akademią Morską w Szczecinie**, a w szczególności z zespołem kierowanym przez prof. dr. hab. inż. Andrzeja Statecznego. W ramach wzajemnej współpracy prof. dr. hab. inż. Andrzej Stateczny był jednym z wykonawców projektu badawczego, którego byłem kierownikiem oraz współautorem jednej z prac naukowych. Kolejnym aspektem naszej współpracy było moje uczestnictwo w pięciu międzynarodowych konferencjach naukowych, organizowanych przez Akademię Morską w Szczecinie. Współpraca

z Akademią umożliwiła mi weryfikację opracowanych metod komputerowych w środowisku osób blisko związanych z tematyką badań.

W latach 2000-2013 współpracowałem z Inspektorem Oznakowania Nawigacyjnego (dziś Wydział Oznakowania Nawigacyjnego) **Urzędu Morskiego w Szczecinie** (UMS). Dzięki tej współpracy pozyskałem duże zbiory aktualnych, rzeczywistych danych pomiarowych, pochodzących z sondaży (wykonanych z użyciem MBES), zebranych w różnorodnych obszarach morskich. Przebywanie w środowisku osób zajmujących się na co dzień pomiarami morskimi umożliwiło mi rozszerzenie wiedzy o aspekty praktyczne i rzeczywiste problemy występujące w procesie tworzenia modeli batymetrycznych. Moje badania spotykały się z zainteresowaniem ze strony pracowników UMS.

### **Działalność dydaktyczna i organizacyjna**

Poza działalnością naukową prowadzę też aktywną działalność dydaktyczną, starając się angażować w pracę naukową studentów. Efektem tego jest **promotorstwo 57 prac inżynierskich i magisterskich** oraz 2 napisane wspólnie ze studentami publikacje naukowe. Jestem aktywny w kreowaniu nowych treści programowych na studiach informatycznych. Opracowałem **treści programowe pięciu przedmiotów**, w tym m.in. do przedmiotu: systemy informacji przestrzennej, który został wprowadzony do programu studiów na Wydziale Informatyki ZUT i który obejmuje zagadnienia poruszane w moich pracach badawczych i opublikowanych artykułach.

W roku 2006 napisałem i **wydałem podręcznik *Wstęp do informatyki***, będący kompendium wiedzy do przedmiotu o tym samym tytule, który prowadziłem. Podręcznik ten został wydany przez Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej. W roku 2007 uzyskałem **nagrodę indywidualną III stopnia JM Rektora ZUT w Szczecinie** za osiągnięcia dydaktyczne w 2006 roku.

Niezależnie od działalności naukowej i dydaktycznej jestem aktywny na polu działań organizacyjnych. W latach 2012-2016 byłem członkiem Uczelnianej Komisji ds. Nagród i Odznaczeń. W latach 2005-2007 pełniłem funkcję kierownika Zakładu Inteligentnych Agentów w Instytucie Grafiki Komputerowej i Systemów Multimedialnych ZUT w Szczecinie.

W okresie od 1 października 2015 do 31 stycznia 2018 roku przebywałem na urlopie bezpłatnym, realizując ogromną pasję, jaką jest żeglarstwo, i odbywając w tym czasie 2,5-letnią podróż dookoła świata na jachcie Wassyl (więcej na [wassyl360.com](http://wassyl360.com)). W trakcie rejsu jako kapitan byłem odpowiedzialny za planowanie trasy, komunikację, meteorologię, logistykę wyprawy, a przede wszystkim jej bezpieczeństwo. W tym czasie znacznie zmniejszyłem intensywność pracy naukowej, która ograniczyła się do recenzji dwóch artykułów do zagranicznych czasopism oraz publikacją jednego artykułu.

Pełny dorobek naukowy, dydaktyczny i popularyzatorski przedstawiłem w Załączniku 3 (wykaz opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki).

25. 01. 2019

Marek  
Wojciech

