

Sopot, 12. 05.2022

Prof. dr hab. Zygmunt Klusek
Instytut Oceanologii PAN
Sopot , ul. Powstańców W-wy, 55

Recenzja rozprawy doktorskiej: mgr Karoliny Trzcńskiej p.t.

„Charakterystyczne cechy rozpraszania wstecznego sygnałów akustycznych od siedlisk dennych w Południowym Bałtyku”

„Characteristic features of acoustical signals backscattering from benthic habitats in the Southern Baltic”

Promotor: prof. dr hab. Jarosław Tęgowski

Promotor pomocniczy: dr Jens Schneider von Deimling

Wstęp

Rozprawa doktorska Pani mgr Karoliny Trzcńskiej przygotowana została jako cykl trzech prac wieloautorskich, opublikowanych w latach 2018, 2020 i 2021, z których w pierwszej dwóch jest drugą na liście autorów, a w pozostałych wiodącym pierwszym autorem.

Tematyka prac jest spójna i należyście odzwierciedlona w tytule rozprawy.

Podkreślić należy, że wszystkie prace składające się na cykl zostały opublikowane w renomowanych czasopismach z listy JCR o wysokich 5-cioletnich współczynnikach wpływu tj. IF 3.585 i 5.353 (łącznie IF 14,291) co już świadczy o istotnym znaczeniu publikacji, poddanych dodatkowo szczegółowej merytorycznej ocenie przez recenzentów .

W prezentowanym cyklu Doktorantka w dwóch pracach jest pierwszym autorem, i zgodnie z zamieszczonymi oświadczeniami współautorów miała Ona bardzo duży 75 i 80% udział w tworzeniu tych publikacji. W trzeciej z prac udział w jej powstaniu wynosił 35%. We wszystkich pracach mgr Karolina Trzcńska zarówno projektowała jak i wykonywała doświadczenia, analizowała wyniki i opracowywała manuskrypt, co świadczy o bardzo dużym zaangażowaniu i samodzielności Autorki.

Pierwsza z przedstawionych w cyklu publikacji to, w której Doktorantka jest drugim autorem z ale Jej udział w powstanie tego artykułu 35%, nie tak znacząco odbiega od udziału pierwszego autora – wynoszącego 55%. Nie stanowi więc wg mnie przeszkody do włączenia tej pracy do cyklu publikacji stanowiącego podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora.

Jednocześnie skład autorski tych publikacji wskazuje na duże wsparcie i współdziałanie zespołu badawczego a w szczególności Promotora, w realizacji badań, których wyniki zawarte są w niniejszej rozprawie doktorskiej.

W naukach empirycznych z obszaru nauk o Ziemi, jest prawie regułą, że częściej powstają prace drukowane w renomowanych czasopismach naukowych wieloautorskie, aniżeli jednoautorskie,

Nie dziwi więc fakt, że w tym przypadku listy autorskie liczą od 6-ciu do 9-ciu osób.

Ponadto Autorka przedstawiła swój dorobek poza dysertacyjny liczący 6 pozycji z lat 2015-2022, opublikowany w czasopismach i materiałach konferencyjnych odnoszący się do bliskich do zawartych w rozprawie zagadnień, tj. analizie sygnałów akustycznych odbitych i rozproszonych na dnie morza oraz wykorzystanie własności sygnałów do opisu charakterystyk ukształtowania dna morskiego i habitatów.

Analiza elementów składowych rozprawy

Mapowanie dna morskiego poza potrzebami prostej nawigacji (batymetrii), np. dotyczące charakterystyk i oceny stanu siedlisk morskich pozostaje procesem wystarczająco żmudnym ze względu na trudności metodyczne, dostępność do przedmiotu badań, a także koszty związane z pracą na morzu. Dodatkowo występują pewne trudności dotyczące interpretacji wyników pomiędzy środowiskiem akustyków morza i przedstawicielami innych specjalności naukowych, tradycyjnie zajmujących się badaniem środowisk ożywionych.

Ograniczone zasięgi penetracji światła w toni morskiej utrudniają wykorzystanie metod optycznych, a zastępujące je z konieczności metody akustyczne wymagają szeroko zakrojonych działań. Dotyczą one, stosowania coraz bardziej złożonej aparatury akustycznej, wyrafinowanych metod obróbki sygnałów i obrazów, a także pokonywania trudności związanych z weryfikacją proponowanych metod zdalnych (bezkontaktowych).

Tworzenie rzetelnych map siedlisk bentosowych, przy ciągle stosunkowo niewielkiej liczbie obserwacji morskich, gdy nie możemy przeprowadzić obserwacji wykorzystujących pełne pokrycie dna morskiego jest ciągle wyzwaniem dla badaczy środowiska morskiego.

Badania na różnych częstotliwościach własności sygnałów rozproszonych wstecz i opracowany na podstawie ich analizy wybór parametrów sygnałów echa okazały się wystarczająco skuteczne. Uzyskane wyniki poza ich wartością dla badań podstawowych wg recenzującego mogą okazać się przydatne przy planowaniu przyszłych działań zarządzania na badanym obszarze morza Bałtyckiego w celu rozwijania działań ochronnych w skali akwenu.

Głównym celem rozprawy doktorskiej – jaki postawiła doktorantka jest : w oparciu o wielowymiarowe charakterystyczne cechy rozpraszania wstecznego sygnałów akustycznych od dna morza zbadanie możliwości najwszechstronniejszego wykorzystania metod akustyki podwodnej dla ich klasyfikacji i monitoringu siedlisk dennych.

W dążeniu do osiągnięcia postawionego celu Doktorantka wykorzystwała szereg nowoczesnych narzędzi badawczych. Dotyczą one zarówno aparatury stosowanej do zebrania danych – tj. jednej z najdoskonalszych echosond wielowiązkowych (f-my NORBIT, iWBMS) oraz bardzo

dobrze dobranych i zmodyfikowanych na potrzeby badań własnych metod obróbki sygnałów i obrazów sonarowych włączających najnowocześniejsze narzędzia uczenia maszynowego.

Jako poligon badawczy Autorka wykorzystwała płytkowodny akwen położony na północ od portu Rowy o powierzchni ok. 1,4 km² cechujący się różnorodnością form dennych, pokrycia dna oraz zbiorowisk roślinnych i zwierzęcych.

Publikacja 1

Janowski L, Trzcinska K, Tegowski J, Kruss A, Rucinska-Zjadacz M, Pocwiardowski P. Near-shore Benthic Habitat Mapping Based on Multi-Frequency, Multibeam Echosounder Data Using a Combined Object-Based Approach: A Case Study from the Rowy Site in the Southern Baltic Sea. *Remote Sensing*. 2018; 10 (12):1983. <https://doi.org/10.3390/rs10121983>

21 stron, 6 rysunków, 73 pozycje literaturowe.

W pierwszej z prac cyklu zebrano i przeanalizowano sygnały i obrazy akustyczne uzyskane z przekrojów akustycznych wykonanych za pomocą echosondy wielowiązkowej na obszarze cennego dla Bałtyku środowiska przybrzeżnego południowego Bałtyku (obszar Rowy). Sondowanie prowadzono na dwóch częstotliwościach: 150 kHz i 400 kHz. Wybrany akwen charakteryzuje się zróżnicowanymi warunkami siedliskowymi. Ponadto występują tam unikalne w Południowym Bałtyku glony czerwone. Zebrany materiał wyjściowy do analiz stanowiły dane batymetryczne i dane o rozpraszaniu wstecznym.

W pracy postawiono hipotezy badawcze, stanowiące, że :

(1) umiejętna klasyfikacja oparta na różnorodnych właściwościach sygnałów akustycznych rozproszonych wstecz pozwoli na rozróżnienie typów siedlisk w południowym Bałtyku;

(2) zastosowanie dwóch częstotliwości znacząco zwiększy ilość zebranych informacji, które będą przydatne do prawidłowej klasyfikacji i oceny stanu siedliska;

oraz (3) metody przetwarzania obrazów, wraz z zastosowaniem statystycznej i teksturowej, pozwolą na opracowanie półautomatycznych procesów pracy w celu rozpoznania i określenia siedlisk bentosowych w południowym Bałtyku.

O ile dwie pierwsze hipotezy badawcze stanowią punkt wyjściowy wielu prac, to trzecia z nich stanowiąca największą wartość poznawczą publikacji charakteryzuje różnorodność zastosowanych nowoczesnych metod grupowania z zakresu uczenia maszynowego. Zastosowano m.in. maszynę wektorów nośnych (inaczej maszyna wektorów wspierających), las losowy (losowy las decyzyjny), sieci neuronowe, a także klasyczne już jak k-średnich czy k-najbliższych sąsiadów.

Zaproponowano tu zbiór 70 cech danych dotyczących batymetrii, sygnałów rozproszonych wstecz, w tym atrybutów statystycznych i teksturalnych prowadzonych dla różnych skali próbek z obrazów sonarowych.

W oparciu o pobrane *in situ* próby danych zidentyfikowano i zaproponowano dla metod uczenia maszynowego sześć klas siedlisk którym przyporządkowano najbardziej istotne cechy

danych batymetrycznych, sygnałów akustycznych i obrazów sonarowych rozpraszania wstecznego.

Dodatkowo przetestowano pięć rodzajów klasyfikatorów opartych na przetwarzaniu obrazów, w ujęciu zarówno pikselowym, jak i obiektowym.

Zgodnie z regułami sztuki dokonano oceny wiarygodności zastosowanych algorytmów, na podstawie podzbioru walidacyjnego próbek o terenie.

Jest znaczącym osiągnięciem tej pracy, że prawidłowe przyporządkowanie osiągnęło 93%, a współczynnik kappa (czyli współczynnik rzetelności powtórnych pomiarów tej samej zmiennej) równy 0,90, potwierdzając, że siedliska dna morskiego na tym obszarze mogą być wiarygodnie rozróżnialne przy zaproponowanej metodzie, na podstawie pomiarów akustycznych.

Co ważne, udowodniono, że podejście obiektowe stosowane wcześniej w różnych środowiskach i na różnych obszarach wskazuje, że metodologia przedstawiona w tym badaniu może być skalowalna.

W podsumowaniu, zwrócono uwagę na przydatność dla klasyfikacji siedlisk jednego z najprostszych istniejących modeli predykcyjnego grupowania k-nn, czyli metodę najbliższych sąsiadów klasyfikowanego obiektu.

Publikacja 2.

Karolina Trzcinska, Lukasz Janowski, Jaroslaw Nowak, Maria Rucinska-Zjadacz, Aleksandra Kruss, Jens Schneider von Deimling, Pawel Pocwiardowski, Jaroslaw Tegowski, Spectral features of dual-frequency multibeam echosounder data for benthic habitat mapping, *Marine Geology*, Vol. 427,

2020, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106239>.

12 stron, 7 rysunków, 77 pozycji literaturowych.

Zasadniczym celem tego etapu pracy był dalszy rozwój automatycznej klasyfikacji siedlisk dennych poprzez dołączenie do danych wejściowych nowej klasy predyktorów użytych do klasyfikacji dna morskiego.

Zaproponowano i przeanalizowano przydatność czterdziestu ośmiu cech charakteryzujących profil powierzchni dna morskiego, w tym ośmiu charakterystyk widmowych.

Wybrane zmienne wykorzystano do przeprowadzenia nadzorowanej analizy obrazu opartej na obiektach z wykorzystaniem czterech algorytmów uczenia maszynowego.

Dla potrzeb oceny i klasyfikacji siedlisk dennych skupiono się na wpływie parametrów spektralnych cech morfologicznych dna morskiego uzyskane z pomiarów batymetrycznych na poprawę wnioskowania. Oszacowanie wiarygodności i przydatności na podstawie trzech modeli mapowania siedlisk bentosowych, wykazały, że praktycznie wszystkie, poza jedną, zaproponowane charakterystyki spektralne dotyczące geomorfologii dna poprawiają moc predykcyjną klasyfikatorów nadzorowanych.

Najwyższa ogólna dokładność modelu predykcyjnego wynosiła około 86% przy użyciu klasyfikatora maszyny wektorów wspierających. Innowacyjne wyniki tego postępują wprowadzenie cech spektralnych do predykcyjnego mapowania siedlisk bentosowych.

Wykazano, co ma duże znaczenie poznawcze, że parametry spektralne widm 2D opisujące ukształtowanie dna i kierunkowość form dna dla predykcyjnego mapowania siedlisk bentosu na podstawie wieloczęstotliwościowych pomiarów MBES miały większe znaczenie niż sama batymetria.

Potwierdzono, że dla tak znaczącego odstępów roboczych częstotliwości echosondy wielowiązkowej (150 i 400 kHz), dla większości rodzajów osadów praktycznie nie zaobserwowano różnic wartości batymetrycznych.

Publikacja 3.

Trzcinska, K.; Tegowski, J.; Pocwiardowski, P.; Janowski, L.; Zdroik, J.; Kruss, A.; Rucinska, M.; Lubniewski, Z.; Schneider von Deimling, J. Measurement of Seafloor Acoustic Backscatter Angular Dependence at 150 kHz Using a Multibeam Echosounder. *Remote Sens.* **2021**, *13*, 4771. <https://doi.org/10.3390/rs13234771>

Praca liczy 22 strony, jest bogato zilustrowana 12 rysunków i 55 pozycji literaturowych.

Trzecia z prac, w opinii recenzującego, najbardziej zaawansowana, przedstawia pomiary akustycznych własności dna morskiego i habitatów dennych za pomocą skalibrowanej akustycznie echosondy wielowiązkowej (MBES). W badaniach wykorzystano najnowsze wersje sprzętu akustycznie skalibrowanego co otworzyło drogę do poszukiwania nowych rozwiązań problemu rozpoznawania i klasyfikacji siedlisk za pomocą właściwie dobranej kombinacji parametrów charakteryzujących rozpraszanie fal akustycznych na tych obszarach. Pozwoliło to także na obliczenie „bezwzględnego” parametru jakim jest siła rozpraszania wstecznego (BBS) i jej zależności kątowe.

Zastosowanie echosondy wielowiązkowej, a z opcją kalibracji akustycznej pozwoliło na obliczenie wartości siły rozpraszania wstecznego dla różnych kątów obserwacji co z kolei umożliwiło określenie osadów lub ukształtowania dna morskiego (w małej skali) z fizycznego punktu widzenia.

Udowodniono, możliwość rozróżnienia obszarów dna pokrytego różnego typu osadami jak bardzo drobnym piaskiem, piaszczystym żwirem i żwirowatym piaskiem, a także między głazami i głazami częściowo porośniętymi przez czerwone algi, co zostało potwierdzone przez przeprowadzone obserwacje wideo.

Przedstawione wyniki są cenne dla uzupełnienia danych zależnościach kątowych rozpraszania wstecznego zebranych do tej pory na różnych akwenach i mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia mechanizmów zależności rozpraszania wstecznego od rodzaju siedliska dennego i poprawić ich klasyfikację akustyczną.

Nie ustalono jednak, jaki powinien być rozmiar okna stosowanego do obliczeń parametrów spektralnych, aby klasyfikacja była użyteczna. Wg Autorów kwestia ta powinna być przedmiotem dalszych badań, w tym porównania z metodami lidarowymi.

Zastosowane nowoczesne narzędzie badawcze, uwzględniające i kompensujące zmienne w czasie położenie w przestrzeni głowicy echosondy pozwoliło na usunięcie artefaktów zakłócających pomiary batymetryczne a tym samym zniekształcać cechy spektralne

Autoreferat i uwagi krytyczne

W Autoreferacie Autorka potrafiła w bardzo przystępnej dla Czytelnika, syntetycznej formie przedstawić całość zagadnienia, naświetlić cele i przebieg kolejnych etapów badań oraz podkreślić wagę wyników w zakresie badań podstawowych środowiska morskiego. Nakreślając równocześnie stojące w przyszłości wyzwania.

W autoreferacie Doktorantka zacytowała 50 umiejętnie dobranych publikacji, Układ rozprawy doktorskiej Pani jest zgodny z normami przyjętymi dla tego typu opracowań Recenzowana rozprawa doktorska składa się z sześciu rozdziałów: (I i II) streszczeń w języku polskim i angielskim, (III) bibliografii, (IV-VI) cyklu publikacji wchodzących w skład rozprawy, oraz (VII) oświadczeń współautorów.

W zakończeniu streszczenia znajduje się lista 50-ciu pozycji literaturowych.

Pomimo zdecydowanie pozytywnej oceny Streszczenia, zauważyłem kilka nieścisłości wypunktowanych poniżej :

Str. 1. w wierszu 7 ponad rysunkiem Autorka stwierdza, że natężenie sygnału echa jest zależne od czułości odbiornika, co jest całkowicie niestusznym, gdyż przy takim stwierdzeniu nie moglibyśmy wykonywać bezwzględnych pomiarów. Kwestia poprawności używania pojęcia „natężenie sygnału echa” znajduje się poniżej.

Na Rys. 1. na osi rzędnych brak opisu osi i opisu jednostek. Można domniemywać, że jest to skala logarytmiczna. W nagłówku rysunku jest natomiast „Natężenie sygnału rozproszonego wstecz”. Jeżeli jest to skala logarytmiczna, z pewnością Autorka miała na myśli siłę rozpraszania wstecznego (scattering strength [dB]).

Str. 2. trzeci akapit od góry - niefortunne stwierdzenie – „powierzchni dna i osadu na nim występującym” a przecież powierzchnia dna zbudowana jest z osadów.

Str. 2. 3 wiersz od dołu - wg Doktorantki – nadal brak szczegółowych informacji o rozpraszaniu dźwięku wstecz od dna morskiego na częstotliwościach powyżej 100 kHz – nie do końca się z tym godzę, gdyż już w klasycznych pracach jak np. S. Stanic, K. B. Briggs, P. Fleischer, W. B. Sawyer, i R. I. Ray (1989), E. Pouliquen i A.P. Lyons, (2002), Ch, F. Greenlaw, D. V. Holliday, i D. E. McGehee (2004), czy prawie współczesnych jak Thomas C. Weber, Larry G. Ward, APL, (2015) dokonano nie tylko pomiarów rozpraszania dźwięku na dnie morza, a nawet analizowano zależności kątowe rozpraszania wstecznego na częstotliwościach znacznie powyżej 100 kHz. Opublikowano także kilka prac dotyczących zależności kątowych rozpraszania wstecz wykonanych przy użyciu echosond wielowiązkowych.

Str. 4. mamy, że „...analiza składowych głównych, która określa stopień korelacji wzajemnej poszczególnych zmiennych...” – jest to wg mnie nieścisłe wyrażenie, gdyż choć na pewnym

etapie postępowania analizy składowych głównych, oblicza się zależności korelacyjne to głównym celem tej metody jest przejście do mniejszej liczby wymiarów i poprzez liniowe transformacje przejście do nowych zmiennych.

Str.5. Rys. 2 – uwagi jak przy rysunku 1 – powinno być w opisie – „poziom gęstości widmowej mocy” – należy dookreślić czego dotyczy.

Str. 5. i dalej – Pani Karolina Trzcńska używa momenty widmowe , ich kombinacje i pochodne, bez zaakcentowania czego dotyczą.

Str. 6. Dotyczy tej strony, a także innych miejsc tekstu streszczenia. Autorka kilkakrotnie pisze, że echosondy (tu wielowiązkowe) dokonują pomiaru natężenia sygnałów akustycznych.

Np. str. 7. „...dodatkowo zarejestrowane wartości natężenia rozpraszanie wstecznego...”

Jest to zasadnicze niedopatrzenie. Natężenie pola akustycznego jest wielkością wektorową, natomiast czujniki echosond dokonują rejestracji wartości skalarnej jaką jest ciśnienie akustyczne. Oczywiście dla fali prawie płaskiej możemy mówić o liniowej zależności kwadratu ciśnienia akustycznego i natężenia, co pozwala na używanie pojęcia „względnego natężenia sygnału akustycznego”.

Str. 6. Ostatnia linijka – typograficzna pomyłka w odwołaniu do literatury – winno być - Wendelboe, 2018

Str. 8 – Na rysunku 5 przedstawiono mapę jedynie wartości względnego natężenia sygnałów rozproszonych wstecz w funkcji kąta padania. Taka mapa musiałaby być w przestrzeni czterowymiarowej.

Wartość naukowa rozprawy

Mapowanie metodami akustycznymi charakterystyk, oceny bieżącego stanu czy długotrwały monitoring siedlisk morskich jest ograniczone ze względu na trudności metodyczne, dostępność do przedmiotu badań, a także koszty związane z pracą na morzu.

Ograniczone zasięgi penetracji światła w toni morskiej utrudniają wykorzystanie metod optycznych, a zastępujące je z konieczności metody akustyczne wymagają jeszcze szeroko zakrojonych działań poznawczych i rozwoju technologii. Dotyczą one, stosowania coraz bardziej złożonej aparatury akustycznej, wyrafinowanych metod obróbki sygnałów i obrazów, a także przewyższenie trudności związanych z potwierdzeniem wyników badań teoretycznych na morzu.

Tworzenie rzetelnych map siedlisk bentosowych, przy ciągle stosunkowo niewielkiej liczbie obserwacji morskich jest ciągle ograniczone. Tym bardziej, że nie możemy przeprowadzić obserwacji obejmujących pełne pokrycie dna morskiego.

Badania na różnych częstotliwościach wyznaczające własności sygnałów rozproszonych wstecz i opracowane na podstawie ich analizy wyboru właściwych parametrów sygnałów echa i obrazów sonarowych ważnych dla klasyfikacji dna morskiego zaproponowane przez Doktorantkę okazały się już wystarczająco skuteczne i wiarygodne.

Uzyskane wyniki poza ich wartością dla badań podstawowych, wg recenzującego są wartościowe także przy planowaniu przyszłych działań zarządzania środowiskiem na badanym obszarze morza Bałtyckiego, m.in. w celu rozwijania działań ochronnych w skali akwenu prowadzonych przez organy administracyjne i decyzyjne.

Ocena końcowa

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr Karoliny Trzcńskiej stanowi bardzo wartościowe wyniki badań środowiska morskiego odnoszącym się do klasyfikacji siedlisk dennych z wykorzystaniem metod akustycznych w wielowymiarowym zakresie.

Zaprezentowana rozprawa doktorska stanowi udany przykład jak można efektywnie wykorzystać badania zespołowe do osiągnięcia postawionych celów.

Zbiór publikacji składających się na rozprawę doktorską Pani mgr Karoliny Trzcńskiej zatytułowanej „Charakterystyczne cechy rozpraszania wstecznego sygnałów akustycznych od siedlisk dennych w Południowym Bałtyku”, wg mnie spełnia wszystkie warunki wymagane odpowiednią ustawą dla uzyskania stopnia doktora nauk.

Stanowi ona oryginalne podejście do istotnego problemu naukowego oraz spełnia wymogi art. 14 ust. 2 pkt 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz. U. z 2017 r., poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669), a stopień doktora może być nadany w dziedzinie i dyscyplinie określonej w przepisach wydanych na podstawie art. 5 ust. 3 tej ustawy.

Uwzględniając wysoki poziom publikacji stanowiących treść recenzowanej rozprawy, wartość naukową przeprowadzonych badań oraz dorobek naukowy mgr Karoliny Trzcńskiej wnioskuję do Wysockiej Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i środowisku Instytutu Oceanografii Uniwersytetu o dopuszczenie do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

12-05.2022

.....
data sporządzenia recenzji



.....
podpis recenzenta