

Prof. UG, dr hab. Leszek Łęczyński  
Uniwersytet Gdański  
Wydział Oceanografii i Geografii  
Instytut Oceanografii UG  
Zakład Geofizyki

Gdynia 16.05.2022.

## RECENZJA

**Rozprawy doktorskiej pana magistra Miłosza Grabowskiego pt. "Skala oddziaływań antropogenicznych na dno wybranych obszarów Morza Bałtyckiego w świetle badań hydroakustycznych i obserwacji wizualnych"**

**napisanej pod kierunkiem prof. dr hab. Zygmunta Kluska oraz promotor pomocniczej dr Aleksandry Kruss w Zakładzie Fizyki Morza Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie**

### **1. Podstawa opracowania recenzji**

Uchwała Rady Naukowej Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie z dnia 8 marca 2022 o powierzeniu obowiązków recenzenta prof. UG, dr hab. Leszkowi Łęczyńskiemu rozprawy doktorskiej mgr Miłosza Grabowskiego.

### **2. Ocena wyboru tematu**

Autor w dysertacji podjął się realizacji bardzo ważnego tematu dotyczącego oddziaływań antropogenicznych na dno morskie wybranych obszarów Morza Bałtyckiego na podstawie badań hydroakustycznych i wizualnej rejestracji struktur powierzchniowych dna. Problematyka omówiona przez autora pracy jest obecnie bardzo aktualna i ważna z inwestycyjnego punktu widzenia oraz zachowania dziedzictwa kulturowego. Dno morskie obecnie i w przyszłości będzie wykorzystywane pod inwestycje związane z eksploatacją złóż surowców, instalacją kabli energetycznych

i telekomunikacyjnych oraz farm wiatrowych. Instalacja farm wiatrowych ma w swoich założeniach być ekologiczną inwestycją mającą na celu produkcję energii elektrycznej wykorzystującej przepływ mas powietrza poruszające generatory wiatrowni.

W badaniach przedinwestycyjnych podstawową metodą rozpoznania struktur dna morskiego są badania hydroakustyczne i wizualne. Dzięki wykorzystaniu tych metod mamy możliwość identyfikacji na dnie niebezpiecznych pozostałości militarnych po I i II wojnie światowej oraz identyfikacji wraków jednostek cywilnych oraz wojennych, które spoczęły na dnie w wyniku różnych katastrof lub działań wojennych. Jest to bardzo ważny element zachowania dziedzictwa kulturowego i wiedzy historycznej. Dokładna interpretacja form dna pozwala również rozróżnić, czy linijne bruzdy na dnie są efektem stosowania trałowania na dnie jako ślad stosowania narzędzi do łowienia ryb (włoki), czy są to bruzdy pozostawione przez dryfujące góry lodowe (ang. *plough marks*).

Reasumując, problem badawczy podjęty w rozprawie doktorskiej należy uznać za bardzo trafny z naukowego punktu widzenia. Jest to problematyka niezwykle ważna pozwalająca wykorzystać krajowy jak i zagraniczny dorobek badawczy szczególnie, że jest realizowana w ośrodku naukowym posiadającym wieloletnie doświadczenie w zakresie problematyki oceanograficznej.

### **3. Ocena poprawności struktury rozprawy**

Recenzowana dysertacja liczy 211 stron, w tym 192 stron tekstu. Praca ponadto zawiera 87 rycin oraz 11 map dna morskiego w formie mozaik i cztery tabele będące istotnym uzupełnieniem tekstu. Układ pracy jest prawidłowy i nie odbiega o przyjętego schematu. Na rozprawę składa się 14 rozdziałów, które są omówieniem i uzasadnieniem postawionego przez Autora celu pracy. Doktorant weryfikuje przyjętą hipotezę, która zakładała, iż przy pomocy zaawansowanych metod bezkontaktowego badania dna morza, opartych na wykorzystaniu technik hydroakustycznych oraz obserwacjach bezpośrednich, możliwe jest określenie skali oddziaływania antropogenicznego na podłoże morskie wybranych obszarów Bałtyku.

W rozdziale 2 należącym do części opisowej pracy Autor odnosi się do przeglądu literatury

wykorzystanej w tekście pracy. Wykorzystanych zostało w pracy 199 pozycji literaturowych, z których bezpośrednio w pracy zacytowano 181 pozycji, co stanowi ok. 91 % wszystkich publikacji. To jest bogate źródło wiedzy tematycznej, z którą zapoznał się Autor i wykorzystał do opisu metodyki badań, uzasadnieniu celu pracy oraz wnioskowania. Literatura jest w pełni reprezentatywna i dostosowana do tematu i charakteru pracy.

Kolejne rozdziały 3 i 4 są omówieniem nowoczesnej aparatury wykorzystywanej w pracy przez Autora do realizacji badań służących do bezinwazyjnych rejestracji podłoża morskiego, w tym bezzałogowych, zrobotyzowanych platform podwodnych. W rozdziale 5 opisano zagadnienia kluczowe i wykorzystywane w aparaturze hydroakustycznej związane ze zjawiskami fizycznymi odnoszącymi się do rozpraszania i odbicia fal akustycznych na dnie oraz występujących na nim obiektach. Środowisko morskie, stanowiące obszar badań opisane zostało w rozdziale 6 charakterystyce poddano m.in. głębokość i rodzaj osadu budujących dno morskie. W rozdziale 7 zaprezentowano kolejne etapy planowania pomiarów i akwizycji danych z wykorzystaniem zrobotyzowanych platform podwodnych wyposażonych w specjalistyczną aparaturę. Rozdział 8 zawiera szczegółowe opisy przetwarzania danych w celu uzyskania map dna badanych obszarów o wysokiej rozdzielczości, a także metod półautomatycznej detekcji obiektów antropogenicznych występujących na nich oraz analizy śladów widocznych na uzyskiwanych zobrażowaniach. W tej części przedstawiono również techniki przetwarzania zarejestrowanych zbiorów magnetometrycznych, a także wizualizacji i porządkowania uzyskiwanych wyników z wykorzystaniem oprogramowania typu GIS. Rozdział 9 ma charakter wynikowy i prezentuje rezultaty poszukiwań obiektów antropogenicznych na dnie badanych obszarów w zdefiniowanych kategoriach: duże śmieci i odpady przemysłowe, wraki oraz obiekty o pochodzeniu militarnym. Oddzielny typ presji antropogenicznej na dno stanowiły ślady w postaci bruzd dennych, które również zostały zaprezentowane w tej części pracy. Rozdziały 10 i 11 podsumowują wyniki badań, w kontekście zastosowanych metod badań i analiz uzyskanych danych oraz stanowią podsumowanie przeprowadzonych prac i uzyskanych rezultatów. Istotnym uzupełnieniem treści dysertacji

są rozdziały 12 i 13, w których przedstawiono literaturę naukową wykorzystaną podczas przygotowywania dysertacji, podano również listę rysunków, które posłużyły do jej zilustrowania. Część ilustracyjna pracy ujmuje rozdział 14, w którym zawarto załączniki, na których prezentowane są mapy dna badanych obszarów z zidentyfikowanymi obiektami antropogenicznymi.

Podsumowując tę część recenzji odnoszącą się do oceny poprawności struktury pracy należy stwierdzić, że rozprawa doktorska została napisana z zachowaniem należytej staranności, dbałości o zrozumiałe przedstawienie celu, hipotez i metodyki pracy. Struktura rozdziałów jest odpowiednio dobrana i wyczerpująco opisuje poruszone w pracy zagadnienia naukowe. Świadczy to o dojrzałości naukowej Autora, który zdobywał doświadczenie w realizacji międzynarodowych projektów badawczych. Z analizy treści pracy wynika, że mgr Miłosz Grabowski jest specjalistą w wykorzystaniu aparatury hydroakustycznej do badań morskich.

#### **4. Ocena układu i merytorycznej wartości pracy**

Układ rozprawy doktorskiej mgr Miłosza Grabowskiego jest właściwy z punktu widzenia przedmiotu rozprawy oraz przyjętego celu. Forma i sposób przedstawienia materiału jest interesująca. Prezentacja w pracy 87 rycin, czterech tabel i 11 map mozaikowych sprawia, że treść jest bardzo dobrze dokumentowana załącznikami graficznymi.

**Wstęp** do recenzowanej dysertacji doktorskiej zawiera wszystkie istotne elementy, w tym uzasadnienie wyboru tematyki pracy, założenia metodyczne (cel, motywację badań) oraz opis struktury pracy, a ponadto omówienie podstawowych pojęć, które w tekście są wykorzystywane.

**Kolejne rozdziały 2, 3, 4** odnoszą się do zagadnień metodologicznych pracy. Zaprezentowane są najpopularniejsze, wykorzystujące aktywne metody akustyczne, pozwalające na mapowanie w krótkim czasie dużych obszarów dna, a także zlokalizowanych na nim różnych obiektów. Tłem do omawianej tematyki był przegląd literatury oraz występujący stały postęp w rozwoju sprzętu do badań hydroakustycznych. Omówiono zastosowanie sonarów bocznych (ang. *side scan sonar*) o wysokiej rozdzielczości, montowanych na pokładach autonomicznych pojazdów podwodnych AUV (ang. *Autonomous Underwater Vehicle*), mogących prowadzić rejestracje blisko dna. Alternatywą

do sonarów są echosondy wielowiązkowych do prowadzenia rozpoznania powierzchni dna. Uzupełnieniem metod hydroakustycznych są metody optyczne takie jak np. systemy telewizji podwodnej znajdujące zastosowanie w badaniach powierzchni dna mórz i oceanów. Wykorzystywane systemy telewizji podwodnej instalowane są na zdalnie sterowanych pojazdach podwodnych ROV (ang. *Remotely Operated Vehicle*), opuszczane na dno, mogą być także holowane nad jego powierzchnią. Autor wyczerpująco opisał działanie wymienionych urządzeń ilustrując zasadę działania rycinami i schematami.

**Rozdział 5** opisuje fizyczne zjawiska i zasady jakie wykorzystywane są w sprzęcie hydroakustycznym. Podane zostały podstawy matematyczne określające zjawisko odbicia i rozpraszania fal akustycznych od dna i obiektów występujących na dnie morskim. Autor wielokrotnie cytuje pozycje literaturowe. W rozdziale podano niezbędne wzory matematyczne wraz z opisem ich składowych.

**Rozdział 6**, to charakterystyka obszaru badań. Wybrane zostały: Zatoka Gdańska, Głębia Gdańska, Głębia Bornholmska i Zatoka Kilońska. Omówiono morfologię i batymetrię dna wybranych obszarów, zasolenie głębokości, na których występują termoklina i haloklina. Dla wymienionych obszarów przygotowane zostały mapy batymetryczne oraz mapy osadów z miejsc, w których były prowadzone badania załączono poglądowe zdjęcia dna najczęściej z przykładami form antropogenicznych lub bentosowych. Przekazane treści są wystarczające i stanowią dobrze opisane tło środowiskowe do prowadzonych badań.

**Rozdział 7** opisuje planowanie pomiarów hydroakustycznych i akwizycję danych. Podzielony na trzy etapy : Etap I – ogólna ocena badanych obszarów dna, Etap II – szczegółowe mapowanie dna oraz Etap III – identyfikacja i wizualna inspekcja obiektów referencyjnych. Wartością dodaną w tym rozdziale jest diagram przedstawiający etapy prowadzenia poszukiwań obiektów i śladów antropogenicznych występujących na powierzchni dna morskiego. Jest to ważna treść tego rozdziału niestety bez podania autorstwa. Należy założyć, że ten ważny diagram opracował Autor pracy.

**Rozdziały 8 i 9** to najważniejsze treści pracy liczące łącznie 64 strony. Prezentują wyniki badań mgr Miłosa Grabowskiego. W kilku podrozdziałach opisano metody wstępnego przygotowania

danych hydroakustycznych - mozaikowanie cyfrowych danych sonarowych oraz metody transformacji obrazów sonarowych – detekcja antropogenicznych obiektów występujących na dnie badanych akwenów. Ponadto, dla obrazów sonarowych wyznaczono statystyki pierwszego i drugiego rzędu. Autor opracował półautomatyczną klasyfikację dna morskiego na podstawie analizy tekstur obrazów sonarowych. Zinterpretowano dane magnetometryczne. Analizie poddano obiekty antropogeniczne widoczne na przetworzonych obrazach sonarowych. Zaprezentowano wizualizację kierunkowości bruzd wykrywanych na analizowanych mozaikach sonarowych. Wyniki badań na poligonach pomiarowych wymienionych powyżej obszarów dna morskiego opisana została detekcja obiektów antropogenicznych i działalności człowieka na dnie Morza Bałtyckiego. Na podstawie przeprowadzonych analiz 11 zobrażeń dna uzyskanych w obszarach badań wykryto łącznie 682 obiekty o wysoce prawdopodobnym pochodzeniu antropogenicznym, które spoczywały na dnie morskim. Z spośród wszystkich znalezisk wybrano 26 obiektów oraz 2 duże zgrupowania celów referencyjnych, które poddano inspekcji i identyfikacji, a następnie opracowano na tej podstawie tabelę będącą zestawieniem wyników badań skali oddziaływania antropogenicznego na dno obszarów. Rozdziały prezentujące wyniki badań są bardzo dobrze dokumentowane schematami, mapami mozaik sonarowych, co stanowi główne osiągnięcie naukowe recenzowanej pracy.

**Rozdziały 10 i 11** to dyskusja wyników oraz podsumowanie i wnioski. Omówione zostały tematy dotyczące : zastosowanej metodyki badań i analizy uzyskiwanych danych, oddziaływanie wykrytych obiektów antropogenicznych i śladów działalności człowieka na ekosystemy bentosowe badanych obszarów, oddziaływanie dużych śmieci i odpadów przemysłowych, wraki zatopionych jednostek, a ekosystemy bentosowe, wpływ obiektów o pochodzeniu militarnym na organizmy bentosowe, efekty innych śladów działalności człowieka widocznych na podłożu morskim. Wnioski prezentowane w pracy wynikają z analizy i interpretacji wyników przeprowadzonych badań oraz bezpośrednio odnoszą się do postawionego celu.

Literatura w pracy liczy 199 pozycji i według recenzenta świadczy o bardzo dobrej znajomości przez Autora analizowanej w pracy problematyki badawczej. Tym bardziej, że z wymienionych

pozycji literaturowych cytowanych zostało 188 w tym kilka wielokrotnie. Spis literatury wymaga jednak poprawek, kilka pozycji cytowanych w pracy nie znalazło się w spisie.

## 5. Uwagi i zastrzeżenia, pytania problemowe

W recenzowanej pracy pojawiają się nieliczne uwagi i zastrzeżenia, które wymagają korekty oraz pewnego przemyślenia i ponownego rozważenia uwag recenzenta. Dotyczą one przede wszystkim niewielkich uchybień i pomyłek dostrzeżonych w trakcie recenzji. Nie wpływają one na wysoką wartość pracy. Najważniejsze z nich zostały zasygnalizowane poniżej :

- strona 23 cytowanie (Fatan i in., 2016) – brak w spisie literatury,
- strona 27 cytowanie (na podstawie Nash i in., 2018) – brak w spisie literatury,
- strona 59 cytowanie (Jackson i in., 1986) – brak w spisie literatury,
- strona 73 Rysunek 7.1 w opisie należy podać, kto jest autorem diagramu (cytowany z literatury, czy został opracowany przez Autora pracy),
- brak dokładnej informacji na temat o roli kalibracji echosondy wielowiązkowej w pomiarach (kilka uwag na ten temat na str. 76 i 147),
- brak w literaturze mapy Wraki – Bałtyk południowy – Zatoka Gdańska autorstwa Biura Hydrograficznego Marynarki Wojennej rok wydania 2010,
- brak opisu niskoczęstotliwościowego profilomierza osadów Edgetech SB – 216 S, wspomniano o urządzeniu w rozdziale 7.4 *Pomiary uzupełniające*,
- proszę zreferować informację o jednostce badawczej, która była wykorzystywana w pomiarach. Czy posiadała system dynamicznego pozycjonowania, z jaką dokładnością lokalizowano punkty pomiarowe,
- proszę zreferować metodykę prowadzenia pomiarów drobnych elementów dna  $< 1 \text{ dm}^3$  z wykorzystaniem pojazdu podwodnego typu ROV,
- proszę rozwinąć informację o repozytorium danych ERA 5 serwisu Climate Change, dotyczące zakresu danych i ich dokładności.

Wyszczególnione uwagi są drobną korektą, która powinna być uwzględniona przez Autora w przyszłości, jeśli planuje publikację wyników badań. Nie umniejsza to wysokiej jakości pracy.



## 6. Główne osiągnięcia pracy

Autor określił na podstawie interpretacji badań wykazał, że zastosowane metody hydroakustyczne powiązane z technikami wizualnej inspekcji są szybkim, bezpiecznym, dokładnym i skutecznym sposobem badania dna morskiego. Opracowane przez Autora i zaproponowane w pracy algorytmy przetwarzania cyfrowych mozaik sonarowych przyspieszają analizę pomiarów, a także są pomocne w interpretacji danych. Autor określił na poligonach pomiarowych na których prowadził badania rodzaj i stopień antropopresji obszaru. Zbadał ponadto, że wiele obiektów ma pochodzenie militarne i stanowi szczególne zagrożenie dla organizmów morskich z uwagi na występujące w nich związki chemiczne o właściwościach toksycznych. Uwalniające się z zatopionej amunicji bojowe środki trujące oraz substancje wykorzystywane do wytwarzania ładunków militarnych może powodować drastyczne pogorszenie ich stanu zdrowia lub śmierć organizmów bentosowych oraz ryb. Autor określił perspektywę oddziaływania antropogenicznego na dno tego akwenu, że będzie ona rosnącą ze względu na aktywność techniczną człowieka. Wymagać to będzie monitorowania dna morskiego Bałtyku zagrożonych antropopresją celem określenia trendów zmian. Wykazuje ponadto konieczność utworzenia bazy danych środowiskowych, która pozwoli w przyszłości powrócić na te obszary w celu przeprowadzenia kolejnych obserwacji i porównań.

## 7. Uwagi końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska jest wartościowym pod względem merytorycznym i rzetelnym opracowaniem naukowym, w którym Autor stosując właściwe metody i techniki wnioskowania osiągnął zakładany cel badawczy.

Uważam, że mgr Miłosz Grabowski wykazał się bardzo dobrą znajomością zagadnienia, bardzo dobrze porusza się w problematyce hydroakustycznej, stosując również w swojej pracy metody wizualnej oceny środowiska morskiego. Do swoich wywodów naukowych odpowiednio dobrał literaturę oraz umiejętnie analizuje i opracowuje osiągnięte w badaniach terenowych wyniki. Metody badawcze wykorzystywane w pracy naukowej są interdyscyplinarne i nowoczesne, ponadto



Autor dobrze posługuje się oprogramowaniem komputerowym do opracowania wyników. Dotychczasowy dorobek naukowy Pana mgr Miłosza Grabowskiego to 10 publikacji indeksowanych na liście web of science, H-indeks - 5, 59 cytowań. Dotychczasowe osiągnięcia naukowe Autora oraz zaprezentowane w pracy wyniki badań świadczą o dobrym przygotowaniu doktoranta do pracy naukowo – badawczej.

**Uważam, że recenzowana praca doktorska spełnia wszystkie wymagania stawiane tego typu rozprawom i wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie o dopuszczenia Pana Magistra Miłosza Grabowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Zgłaszam recenzowaną przez mnie pracę do wyróżnienia.**

*Prof. UG, dr hab. Leszek Łęczyński*

