



Eksploracja głębin morskich z wykorzystaniem fal akustycznych jest intensywnie rozwijana od ponad stu lat, początkowo głównie w celach militarnych. Impulsy akustyczne emitowane przez echosondy i sonary po odbiciu i rozproszeniu na obiektach w toni wodnej i dnie niosą informacje o charakterze rozpraszaczy. Z tego względu aktywne metody akustyczne są od kilkudziesięciu lat szeroko stosowane w identyfikacji i szacowaniu zasobów ryb. Ryby morskie stanowią ważny składnik diety człowieka i są intensywnie poławiane na skalę przemysłową. W wielu rejonach mórz i oceanów nastąpiło drastyczne przełowienie niektórych ich gatunków i stąd istnieje potrzeba stosowania i rozwoju metod monitorowania zasobów biologicznych i badania działania ekosystemów morskich. I tak np. Morze Bałtyckie podlega szczególnej antropopresji polegającej na silnej eutrofizacji jego wód, dużym przełowieniu niektórych gatunków ryb a także na chemicznym zanieczyszczeniu morza spowodowanym np. zatopieniem w jego wodach broni chemicznej po II Wojnie Światowej.

Szybki rozwój technik cyfrowych spowodował znaczący postęp w rejestracji i przetwarzaniu informacji gromadzonych przy użyciu metod hydroakustycznych będących między innymi przedmiotem recenzowanej dysertacji.

Praca doktorska Pana mgr. Pezackiego porusza ważny problem badawczy polegający według autora na „określeniu charakterystycznych cech morfometrycznych, energetycznych oraz spektralnych rozkładów siły objętościowego rozpraszania wstecznego, w tym ich zmienności czasowej dla rozpraszania na skupiskach ryb w Zatoce Puckiej” i jest to główny jej cel.

Dysertacja jest wynikiem analizy materiału pomiarowego zarejestrowanego przez doktoranta podczas czterech rejsów badawczych na akwenie Zatoki Puckiej odbytych na rv Oceanograf. Głównymi narzędziami badawczymi była trzyczęstotliwościowa echosonda jednowiązkowa SIMRAD EK80 firmy Kongsberg Maritime oraz oprogramowanie SONAR-5 PRO służące do analizy danych hydroakustycznych zarejestrowanych echosondą. Autor korzystał także z procedur napisanych prawdopodobnie w środowisku programowym Matlab, chociaż nie podał explicite tej informacji.

Praca doktorska mgr. Pezackiego składa się z 8. rozdziałów, streszczenia w językach polskim i angielskim, spisu rysunków oraz tabel. Spis literatury liczy 201 pozycji, z czego 2 pozycje są jego współautorstwa. W rozprawie umieszczono 11 tabel i 71 rysunków (wykresy, echogramy, mapy i szkice). Echogramy i wykresy są graficzną reprezentacją wyników uzyskanych w programie SONAR-5 PRO i prawdopodobnie w programie Matlab.

Dysertacja jest napisana w sposób przejrzysty, jednak autor nie ustrzegł się przed licznymi błędami składniowymi i interpunkcyjnymi występującymi na niemal każdej jej stronie (np. na stronie tytułowej pracy jest kropka po jej tytule). Mgr Pezacki używa czasami kolokwializmów, zamiast języka wymaganego w pracy naukowej.

Układ dysertacji jest prawidłowy. Po streszczeniu i spisie treści następuje Wstęp, w którym jest przedstawiony cel pracy i uzasadnienie prowadzenia badań. Ważnym elementem tego rozdziału jest podanie dotychczasowego stanu wiedzy dotyczącego przedmiotu badań i zdefiniowanie podstawowych mierzonych parametrów hydroakustycznych, takich jak np. siła celu pojedynczego osobnika i siła objętościowego rozpraszania wstecznego. Rozdział 2 zawiera

opis metodyki prowadzonych badań wraz z opisem basenu pomiarowego oraz sposobu rejestracji danych hydroakustycznych i hydrofizycznych. Rozdziały od 3 do 7 są poświęcone realizacji poszczególnych celów badawczych w sezonach jesiennym (październik 2018), zimowym (luty 2019), wiosennym (kwiecień 2019) i letnim (lipiec 2019). Układ rozdziałów 3-7 posiada jednolitą strukturę. W rozdziale 3 autor skupił się na analizie rozkładów przestrzennych siły objętościowego rozpraszania wstecznego dla dnia i nocy w wymienionych sezonach badawczych. Rozdział 4 zawiera parametryzację echogramów – akustycznych rozkładów przestrzennych siły objętościowego rozpraszania wstecznego dla zmian dobowych i sezonowych. Rozdział 5 opisuje zaobserwowane na echogramach migracje pionowe organizmów w Zatoce Puckiej. Bardzo wartościową częścią dysertacji jest Rozdział 6 - analiza częstotliwościowa przestrzennego rozkładu siły objętościowego rozpraszania wstecznego dla trzech częstotliwości. Analiza jest przeprowadzona dla zmian dobowych i sezonowych badanych parametrów. Ostatnim rozdziałem badawczym (Rozdział 7) jest przedstawienie próby klasyfikacji organizmów morskich za pomocą parametrów widmowych jako zbioru wejściowego do algorytmu klasyfikacji bazującego na logice rozmytej i analizie skupień. Podsumowanie, na które składają się główne wyniki badań i analiz jest zamieszczone w Rozdziale 8.

## **2. Ocena celów badawczych**

Główny cel badawczy pracy polegający na określeniu cech morfometrycznych, energetycznych oraz spektralnych rozkładów przestrzennych siły objętościowego rozpraszania wstecznego na skupiskach ryb w Zatoce Puckiej został przez autora dysertacji osiągnięty. Zbadał on na podstawie analizy echogramów, charakterystyczne cechy migracji dobowych organizmów w okresie wschodów i zachodów słońca dla czterech pór roku. Określił zależność częstotliwościową uśrednionej siły rozpraszania wstecznego oraz jej zmienność dobową i sezonową.

Za najważniejsze samodzielne osiągnięcie naukowe spośród wymienionych w rozprawie należy uznać następujące:

- wykazanie, że własności rozkładów przestrzennych siły objętościowego rozpraszania wstecznego skupisk ryb w zewnętrznej części Zatoki Puckiej różnią się od własności rozkładów tego parametru w głębokowodnej części Zatoki Gdańskiej oraz Głębi Gdańskiej zaobserwowane zarówno w porze dziennej i nocnej jak i w czterech sezonach pomiarowych,
- przedstawienie i interpretacja zmienności dobowej i sezonowej parametrów opisujących rozkłady przestrzenne siły objętościowego rozpraszania wstecznego skupisk ryb oraz porównanie wyników z wynikami otrzymanymi wcześniej dla obszarów głębokowodnych,
- przeprowadzenie szczegółowych badań sezonowych dobowej migracji pionowej organizmów morskich dzięki zastosowaniu echosondy jednowiązkowej typu split-beam,
- po raz pierwszy dla polskich obszarów Południowego Bałtyku przeprowadzenie szczegółowych badań tzw. ławic akustycznych, polegających na sparometryzowaniu

charakterystycznych cech morfometrycznych, energetycznych oraz spektralnych objętościowej siły rozpraszania wstecznego ławic i wykazaniu zmienności parametrów w zależności od sezonu, pory dnia i nocy, wschodu i zachodu Słońca oraz częstotliwości sygnałów sondujących (38 kHz, 120 kHz i 333 kHz),

- po raz pierwszy dla Bałtyku przeanalizowanie zmian dobowych i sezonowych zależności częstotliwościowej siły rozpraszania wstecznego,
- podjęcie udanej próby klasyfikacji nienadzorowanej organizmów morskich za pomocą parametrów spektralnych będących zbiorem wejściowym do algorytmu klasyfikacji bazującego na logice rozmytej i analizie skupień.

Wyniki badań przedstawione w dysertacji Pana mgr. Pezackiego są cennymi informacjami dotyczącymi rozkładów przestrzennych ryb w zewnętrznej Zatoce Puckiej. Powinny one wzbudzić zainteresowanie ichtiologów i ekologów zajmujących się badaniami Południowego Bałtyku. Biorąc pod uwagę związek ekosystemu Zatoki Puckiej z ekosystemem całego Bałtyku, wyniki badań są ważne dla poszerzenia wiedzy i zrozumienia działania ekosystemu całego morza. Mają one także spory wymiar praktyczny a przedstawiona metoda hydroakustycznej klasyfikacji organizmów morskich może pomóc w ekosystemowym zarządzaniu obszarami morskimi. Pan mgr. Pezacki wykazał się wieloma umiejętnościami, począwszy od przeprowadzenia eksperymentu naukowego w warunkach morskich, poprzez przetwarzanie danych pomiarowych, aż po analizę i interpretację wyników.

### **3. Uwagi polemiczne i krytyczne (część mniej istotnych uwag zaznaczyłem w tekście dysertacji przedłożonym do recenzji)**

Chociaż merytorycznie dysertację oceniam wysoko, to jednak znalazłem w niej pewne niedociągnięcia, nieścisłości i błędy. Ważniejsze według mnie uwagi zawarłem poniżej.

1. Autor dysertacji nie przedstawił spójnej i wiarygodnej metody weryfikacji wyników swoich badań. Jeden raz użył kamery zamontowanej na pojeździe podwodnym do sfilmowania ryb śledziowatych występujących w gęstym skupieniu (Rys.3.13). Do klasyki w badaniach hydroakustycznych organizmów morskich należy wykonywanie kontrolnych trałowań sieciami i przeprowadzenie analizy gatunków i rozmiarów złowionych organizmów oraz określeniem ich biomasy. Autor tłumaczy brak trałowań nieprzystosowaniem rv Oceanograf do wykonywania trałowań podczas prowadzenia przez niego badań. Co prawda autor jest świadomy przytoczonego ograniczenia podając informacje o gatunkach ryb występujących w rejonach zbliżonych do poligonu badawczego, korzystając z raportów grupy roboczej Baltic International Fish Survey Working Group ICES, wykonywanych przez Morski Instytut Rybacki w Gdyni; raportów Narodowego Programu Zbierania Danych Rybackich za lata 2014-2020; publikacji naukowych; opracowań poświęconych realizacji Programu badań środowiska morskiego Zatoki Puckiej, ze szczególnym uwzględnieniem czynników istotnych dla rybołówstwa w latach 2019-2020 oraz z doniesień rybaków. Jednakże należy

zaznaczyć, że informacjom o gatunkach ryb i ich liczebności brakuje jedności miejsca i czasu z przeprowadzonymi przez autora pomiarami hydroakustycznymi. Uniemożliwia to zbadanie istotnych korelacji pomiędzy parametrami siły objętościowego rozpraszania wstecznego skupisk ryb w zewnętrznej części Zatoki Puckiej a charakterystycznymi cechami ich gatunków i ich liczebnością.

2. Autor w sposób opisowy zdefiniował przekrój czynny na rozpraszanie i przekrój czynny na rozpraszanie wsteczne nie podając jednak wzorów (str. 20). Jest to jeden z podstawowych parametrów charakteryzujących rozpraszanie na pojedynczych obiektach, z którego jest obliczana Siła Celu. Ścisłe definicje wymienionych parametrów powinny znaleźć się w dysertacji.
3. Podstawowym parametrem opisującym hydroakustycznie skupienia organizmów morskich jest siła objętościowego rozpraszania wstecznego. Jest ona związana ze współczynnikiem rozpraszania objętościowego wstecz. Autor nie zdefiniował tego współczynnika za pomocą wzoru podając tylko bardzo ogólną definicję opisową (str. 22).
4. Autor na str. 24 dysertacji używa niewłaściwej nomenklatury hydroakustycznej pisząc „Jednym z takich współczynników jest czasowa regulacja wzmocnienia TVG (ang. Time Varied Gain)”. W języku polskim występuje Zasięgowa Regulacja Wzmocnienia – ZRW jako odpowiednik angielskiej nazwy TVG.
5. W paragrafie 2.1.1. przy opisie aparatury badawczej, w tabeli 2.1 jest podana specyfikacja przetworników hydroakustycznych echosondy EK80 firmy Simrad. Jest tam informacja o czułości nadawczej i czułości odbiorczej przetworników nazywanych przez autora odpowiednio odpowiedzią transmisji i czułością odbioru. Definicja czułości odbiorczej jest podana prawidłowo (dB re 1V/μPa), natomiast definicja czułości nadawczej (TSens) jest błędna. Prawidłowa definicja czułości nadawczej jest podana poniżej:

$$TSens = 20 \log_{10} \frac{p_{1V}}{p_{ref}} \text{ dB re } 1\mu Pa/1V @ 1m$$

gdzie  $p_{1V}$  jest to ciśnienie mierzone na osi akustycznej nadajnika w odległości 1 m od źródła dla napięcia przyłożonego do nadajnika 1V i ciśnienia referencyjnego  $p_{ref} = 1\mu Pa$ .

6. Na str. 31 napisano o zastosowaniu „kompensatora przechyłów model OCTANS firmy IXSea” i dalej, że „Działanie tych czujników pozwoli przeprowadzić korektę sygnału hydroakustycznego związaną z przechyłami statku”. System OCTANS mierzy kąt obrotu kadłuba wokół osi X,Y i Z. Nie jest przeprowadzana korekta sygnału hydroakustycznego, tylko wyznaczenie położenia wiązek odbiorczych na dnie związane ze zmianą geometrii odbicia wynikającą z obrotów kadłuba statku.
7. W rozdziale 2.1.4 pt. Kalibracja echosondy brakuje według mnie opisu teoretycznego procesu kalibracji. Siła celu TS kuli kalibracyjnej jest funkcją iloczynu  $ka$ , gdzie  $k$  jest

liczbą falową a  $a$  jest promieniem kuli. W zakresie nadawanych częstotliwości i stosowanych średnic kul kalibracyjnych wartość TS silnie fluktuuje przy niewielkich zmianach iloczynu  $ka$ . Przedstawione w dysertacji wyniki badań bardzo zależą od dokładności kalibracji. Uważam, że w tym rozdziale powinien być podany szacunek błędu kalibracji i jak może on wpływać na finalne wyniki pomiarów. W dysertacji system kalibracji został potraktowany jak czarna skrzynka, w którym kalibracja sprowadza się do prawidłowego podwieszenia kulki kalibracyjnej pod przetwornik i odczytania zapisanego wyniku.

8. Na str. 140 podano wzór na tzw. względne zmiany częstotliwościowe siły objętościowego rozpraszania wstecznego  $\Delta dB(f) = SV(f) - SV(120)$  – wzór 6.1. Nie podano w jaki sposób obliczana jest różnica wartości zlogarytmowanych. Czy odejmuje się wartości w skali logarytmicznej, czy sprowadzone do postaci liniowej i ponownie zlogarytmowane.
9. W rozdziale 7 przeprowadzono klasyfikację nienadzorowaną organizmów. W wyniku klasyfikacji otrzymano dwa skupienia reprezentujące dwa gatunki ryb lub jeden gatunek o różnych cechach osobników, np. różnej długości. Brak kontrolnego trałowania uniemożliwia identyfikację skupień. Analizę przeprowadzono prawdopodobnie w środowisku programowym Matlab, ale nie podano tej informacji.
10. W dysertacji w wielu miejscach występują kolokwializmy np. „Natomiast, jeżeli chodzi o wabienie organizmów przez światła statku ... „ - str. 39; „pojedynczy ping” – str. 70, powinno być „pojedynczy impuls echa”; „została policzona również scałkowana po głębokości ...” – str 71, powinno być „obliczona”; „przy pingowaniu dziennych ławic” – str. 88, nie ma słowa „pingowanie” w hydroakustyce, występuje ono natomiast w informatyce; „większa temperatura” – str. 89, temperatura może być wyższa albo niższa od ...; „histogram scałkowanej ławicy” – str. 95, całkuje się funkcję a nie ławicę; „Dane hydroakustyczne ... były zbierane ze statku” – str. 100, 103, 105, dane się rejestruje a nie zbiera; „Dane zostały zebrane z tego samego obszaru „naświetlonego” przez echosondę” – str. 136, powinno być „Dane zostały zarejestrowane z tego samego obszaru nagłośnionego przez echosondę”; „wiązka akustyczna ... „naświetla” ławicę – str. 138, powinno być nagłaśnia ławicę, itd. Są to tylko przykłady kolokwializmów i niewłaściwie użytych znaczeń słów, jest ich w dysertacji więcej, zaznaczyłem je w jej tekście. Jest też dużo błędów literowych i interpunkcyjnych występujących na większości stron dysertacji.

#### 4. Ocena końcowa

Pomimo uwag krytycznych uważam, że przedstawiona do recenzji praca nie zawiera istotnych błędów merytorycznych. Postawione cele dotyczące zagadnień o dużym znaczeniu poznawczym i praktycznym zostały w pełni osiągnięte z wykorzystaniem właściwych metod badawczych. Rozprawa doktorska mgr. Patryka Damiana Pezackiego wnosi wartościowy wkład w rozwój nowych metod wykorzystania hydroakustyki do monitorowania zasobów biologicznych i badania działania ekosystemów morskich.

Reasumując stwierdzam, że wszystkie postawione cele pracy zostały w pełni osiągnięte i spełnia ona 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., poz1789) 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.

Mając na uwadze dobry poziom pracy oraz wartość naukową przeprowadzonych badań przez mgr. Patryka Damiana Pezackiego, wnioskuję do Wysokiej Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego o dopuszczenie do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Pezacki', is centered on the page.