



Warszawa, 10 grudnia 2025 r.

Dr hab. Oskar Głowacki, prof. IGF PAN
Zakład Badań Polarnych i Morskich
Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk
tel.: (22) 6915 817, e-mail: oglowacki@igf.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr Marii Osińskiej
pt. „Rola dopływu wód lodowcowych i wiatru w kształtowaniu
cyrkulacji i produktywności w antarktycznej zatoce lodowcowej”

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr Marii Osińskiej pt. „Rola dopływu wód lodowcowych i wiatru w kształtowaniu cyrkulacji i produktywności w antarktycznej zatoce lodowcowej”. Recenzję sporządzono w odpowiedzi na prośbę Wysokiej Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Uniwersytetu Gdańskiego z dnia 14 października 2025 r. Podstawą dla wykonania recenzji jest Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (ze zm.). W skład rozprawy wchodzi dwa artykuły naukowe opublikowane w czasopismach branżowych oraz jeden manuskrypt artykułu wysłany do recenzji:

1. **Osińska, M.**, Wójcik-Długoborska, K. A., Bialik, R. J. (2023). Annual hydrographic variability in Antarctic coastal waters infused with glacial inflow. *Earth System Science Data*, 15(2), 607–616. <https://doi.org/10.5194/essd-15-607-2023>.
2. **Osińska, M.**, Herman, A. (2024). Influence of glacial influx on the hydrodynamics of Admiralty Bay, Antarctica – study based on combined hydrographic measurements and numerical modeling. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1365157. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2024.1365157>.
3. **Osińska, M.**, Herman, A. Hydrodynamic response of an Antarctic glacial bay to cross-bay winds and its potential impact on primary production. *Scientific Reports* (artykuł w trakcie recenzji).

Doktorantka jest wiodącą autorką wszystkich wymienionych prac. Potwierdzają to jednoznacznie załączone do rozprawy oświadczenia współautorów. Dwa opublikowane już artykuły ukazały się w czasopismach o wysokich współczynnikach wpływu (z ang. impact factor; 11.6 dla publikacji 1 oraz 3.0 dla publikacji 2).

Przedmiotem rozprawy była analiza wpływu prędkości i kierunku wiatru oraz intensywności i głównych wzorców spływu wody lodowcowej na cyrkulację, stratyfikację oraz produkcję pierwotną w Zatoce Admiralicji zlokalizowanej w obrębie Wyspy Króla Jerzego archipelagu Szetlandów Południowych. Zgodnie z przygotowanym wprowadzeniem do rozprawy, Doktorantka postawiła sobie za cel znalezienie odpowiedzi na następujące pytania: 1. Jak wygląda zmienność w czasie i przestrzeni parametrów fizycznych, chemicznych i biologicznych w wodach zatoki?, 2. Jakie są podstawowe wzorce cyrkulacji wód w miejscu badań?, 3. Jaki wpływ na procesy mieszania się mas wodnych w zatoce ma topnienie lodowców uchodzących do morza?, 4. Jaka jest zmienność sezonowa dostawy oraz ścieżek transportu wody pochodzenia lodowcowego dla różnych obszarów Zatoki Admiralicji?, a także 5. Jakie znaczenie dla procesów hydrodynamicznych i biologicznych mają wiatry wiejące w poprzek osi zatoki? Odpowiedzi na powyższe pytania poszukiwano z wykorzystaniem własnych pomiarów bezpośrednich, modelowania, a także szeregu innych dostępnych danych oceanograficznych, meteorologicznych oraz satelitarnych.

Postawione w rozprawie zagadnienia badawcze są istotne naukowo w związku z postępującym ogrzewaniem oceanu światowego i przyspieszającym wycofywaniem się lodowców i lądolodów. Zmiany te wpływają nie tylko na wzrost poziomu morza i izostaticzne podnoszenie się lądów, ale również bezpośrednio zmieniają sposób funkcjonowania ekosystemów m.in. poprzez wysładzanie mas wodnych i modyfikację procesów mieszania się wód. Gromadzenie kompleksowych danych oceanograficznych oraz ich dalsza analiza, w połączeniu z równie istotnym modelowaniem zjawisk, są fundamentem lepszego zrozumienia wpływu zmian klimatu na wzajemne interakcje lodowców z morzem. Chciałbym również podkreślić, że badanie środowiska Zatoki Admiralicji ma znaczenie także z perspektywy obecności Polski w gronie państw członkowskich Traktatu Antarktycznego oraz faktu posiadania przez Polskę całorocznej stacji polarnej w archipelagu Szetlandów Południowych (Polska Stacja Antarktyczna im. Henryka Arctowskiego). Moim zdaniem można wręcz mówić o obowiązku prowadzenia monitoringów środowiska i badań eksperymentalnych przez Polskę jako stronę Traktatu oraz posiadacza stacji. Stacja Arctowskiego stanowiła bazę dla pomiarów, które Doktorantka wykorzystała w realizacji rozprawy doktorskiej.

Wprowadzenie do rozprawy zawiera następujące elementy: opis obszaru badań i jego posadowienie w szerszym kontekście rejonu Półwyspu Antarktycznego, podstawowe cele badawcze i listę artykułów naukowych będących wynikiem ich realizacji (wymienione wcześniej), uzasadnienie wyboru i opis metodologii, a także syntetyczne podsumowanie rezultatów wraz ze wskazaniem potencjału ich dalszego wykorzystania. Taka struktura jest jak najbardziej zasadna i wskazuje na to, że ten fragment rozprawy został przygotowany w sposób przemyślany. Brakuje jednak bardziej szczegółowego przedstawienia aktualnego stanu wiedzy dotyczącego procesów oceanograficznych i glaciologicznych w Zatoce Admiralicji; to właśnie ten stan wiedzy stanowił punkt wyjścia dla podjętych badań. Przedstawienie rozprawy w formie artykułów, w których takie informacje zwykle są zawarte, nie zwalnia z obowiązku ich zaprezentowania – chociażby w skrótovej formie – właśnie na tym etapie. Pewnym uchybieniem jest też brak dokładnej mapy Zatoki Admiralicji, co utrudnia przyswajanie treści wprowadzenia (np. odniesienia do wewnętrznej zatoki Ezcurra). Doktorantka przedstawiła natomiast poglądową mapę rejonu Półwyspu Antarktycznego, co pozwala do pewnego stopnia umiejscowić miejsce badań w szerszym kontekście. Przydatne byłoby jednak naniesienie dodatkowych informacji na temat typowej termiki wód, czy też zasięgu lodu morskiego.

Mimo wskazanych przeze mnie drobnych uchybień, treść wprowadzenia wskazuje na dojrzałość naukową Doktorantki. W tym kontekście szczególną uwagę przyciąga krytyczne podejście do uzyskiwanych rezultatów. Dla przykładu, Doktorantka dostrzega brak pomiarów oceanograficznych w okresie silnych wiatrów wschodnich, co ograniczyło możliwości walidacji części symulacji numerycznych. Warto również zauważyć przydatne łączenie pewnych faktów, wynikające z uczestnictwa w pracach terenowych (trzy kampanie pomiarowe). Jak zauważa sama Doktorantka, doświadczenie terenowe pozwala lepiej zrozumieć i interpretować wyniki modeli. Przykładem są tutaj obserwacje żerowania wielorybów i pingwinów w kontekście identyfikacji obszarów o wzmożonej produkcji pierwotnej (także w trakcie silnych wiatrów zachodnich). Wreszcie, dobór metodyki badawczej – czyli połączenia oceanografii obserwacyjnej w zakresie fizyki i biologii morza z modelowaniem – jest w dużej mierze nowatorski w skali rejonu Półwyspu Antarktycznego, wymagający warsztatowo, bardzo trafny i właściwie scharakteryzowany.

Pierwsza publikacja (Osińska i in., 2023) jest opisem danych oceanograficznych z pomiarów prowadzonych w Zatoce Admiralicji w okresie grudzień 2018 – styczeń 2022 (łącznie 38 miesięcy). Dane obejmują wszystkie sezony i zawierają w sobie następujące mierzone parametry: temperaturę wody, przewodnictwo, mętność, pH, ilość rozpuszczonego

tlenu, ilość rozpuszczonej materii organicznej, stężenia chlorofilu *a*, a także zawartość fikoerytryny. Trzy ostatnie parametry („biologiczne”) mierzone były od marca 2021 po pozyskaniu nowej sondy pomiarowej (EXO2). Pomiary były prowadzone w 31 różnych lokalizacjach, podzielonych na trzy główne obszary zainteresowania: wewnętrzne zatoki lodowcowe, wewnętrzna zatoka Ezcurra oraz centralna część Zatoki Admiralicji. Łącznie dane obejmują 142 dni. Zakres czasowy pomiarów nie jest wystarczający do wnioskowania o wpływie zmian klimatu na warunki oceanograficzne w Zatoce Admiralicji. Niemniej jednak zgromadzone i zaprezentowane dane są unikalne w kontekście badań zatok lodowcowych, dla których w większości przypadków mamy do czynienia tylko z pomiarami ze statków wykonywanymi w okresie letnim. Co więcej, trzeba zaznaczyć poświęcenie Doktorantki związane z pracą w bardzo trudnych warunkach środowiskowych (falowanie, załodzenie, zmienne warunki atmosferyczne). W tym kontekście oraz biorąc pod uwagę rosnącą rolę danych i ich udostępniania, wartość naukową zebranych pomiarów oceniam bardzo wysoko.

Mam jednak pewne uwagi krytyczne co do metodologii. Jak wynika z wyjaśnień zamieszczonych w publikacji, głębokość wykonywania pomiarów była ograniczona do 100 m ze względu na długość kabla. Rozumiem w takim razie, że dane były gromadzone przy użyciu kabloliny, z rejestratorem na łodzi. Uważam, że stanowi to istotne ograniczenie, gdyż utrudnia analizę pełnej struktury stratyfikacji mas wodnych. Należy jednak zauważyć, że w publikacji otwarcie wskazano na to ograniczenie i jego potencjalny wpływ na błędne interpretacje wyników. Kolejnym ograniczeniem była bardzo niska, jak na pomiary tego typu, częstość próbkowania w początkowym okresie badań; 0.2 Hz przy tempie opuszczania sondy 1 m/s oznacza zaledwie jeden pomiar na 5 m kolumny wody. Ta decyzja zaskakuje. Zastanawiam się, czym była motywowana. Mniejsza ilość pomiarów przypadająca na warstwę wody oznacza nie tylko trudność w wychwytywaniu zmian małoskalowych, ale także większą wrażliwość na pojedyncze błędne pomiary. Doceniam jednak późniejszą refleksję i podwyższenie częstości próbkowania do 1 Hz po 30 grudnia 2019. Świadczy to o tym, że w trakcie kampanii pomiarowej analizowano potencjalne problemy w późniejszej interpretacji wyników.

Jakość samej publikacji – jako klasycznego opracowania dotyczącego danych – nie budzi większych zastrzeżeń. Wykresy i tabele są czytelne, a sposób przeprowadzania pomiarów i kontroli jakości wyjaśniony klarownie. Należy podkreślić krytyczne podejście Autorów do interpretacji częstego uzyskiwania ujemnych wartości parametrów biologicznych i mętności. Słusznie zaznaczono, że w przypadku ilości rozpuszczonej materii organicznej, stężeń chlorofilu *a* i zawartości fikoerytryny – mierzonych w raportowanym okresie – należy raczej

analizować zmienność poszczególnych parametrów, niż same mierzone wartości. Chciałbym zwrócić także szczególną uwagę na wysoką jakość rycin. Widać, że włożono znaczny wysiłek w ich przygotowanie. Pewnym słabym punktem publikacji – podobnie jak w przypadku wprowadzenia do rozprawy – jest zbyt skrótowy opis dotychczasowego stanu wiedzy w zakresie oceanografii Zatoki Admiralicji. Można odnieść wrażenie, że Autorzy są pierwszymi badaczami wykonującymi jakiekolwiek pomiary oceanograficzne w miejscu badań.

Na koniec oceny tej publikacji pokuszę się o pewien komentarz. Jedną z najważniejszych kwestii w pozyskiwaniu długoterminowych danych w obszarach polarnych jest zorganizowanie i dostarczenie środków do prowadzenia pomiarów – w tym sprzętu i zaplecza terenowego. Zgodnie z oświadczeniami współautorów, Promotor prof. Robert Bialik – pomysłodawca i kierownik projektu, w ramach którego dane gromadzono – odpowiadał za powyższe. Wydaje się zatem, że procentowy wkład Promotora w powstanie publikacji opublikowanej w *Earth System Science Data* może być zaniżony. Jednocześnie chciałbym bardzo mocno podkreślić, że w żaden sposób nie umniejsza to wiodącej (i moim zdaniem w pełni wystarczającej w kontekście uzyskiwania doktoratu) roli Doktorantki, która odpowiadała za nadzór merytoryczny i organizacyjny programu pomiarowego (w tym zarządzanie pracami obserwatorów), uczestniczyła w części pomiarów (trzy sezony letnie), przeprowadziła kontrolę jakości i analizę danych, a także przewodziła procesowi powstawania publikacji. Mój komentarz ma tylko za zadanie zwrócić uwagę na pewien szerszy problem trudności w ocenie wkładu autorskiego w publikacjach będących częścią rozpraw doktorskich.

Druga publikacja (Osińska i Herman, 2024) koncentruje się na dwóch głównych zagadnieniach badawczych: (i) analizie roli topniejących lodowców uchodzących do morza w kształtowaniu lokalnych zmian poziomu wody, wzorców cyrkulacji oraz stratyfikacji w Zatoce Admiralicji, a także (ii) oszacowaniu ilości spływającej wody lodowcowej dostarczanej do zatoki w cyklu sezonowym. W pracy połączono analizę dostępnych danych obserwacyjnych – opisanych szczegółowo w pierwszej publikacji (Osińska i in., 2023; zakres czasowy danych rozszerzono do 2023 roku) – z modelowaniem hydrodynamicznym. Takie kompleksowe podejście nie było wcześniej stosowane w tym rejonie badań.

Artykuł rozpoczyna się wstępem, który dobrze umiejscawia cele badawcze w aktualnym stanie wiedzy na temat cyrkulacji w zatokach i fiordach lodowcowych w kontekście spływu słodkiej wody z lodowców. W przeciwieństwie do wprowadzenia do rozprawy oraz pierwszego z artykułów wchodzących w jej skład (Osińska i in., 2023), tym razem obszar badań jest dość dobrze scharakteryzowany. Wciąż brakuje jednak odniesień do części pierwszych opracowań,

które opisywały strukturę termiczno-zasoleniową i cyrkulację w Zatoce Admiralicji; przykładami takich artykułów są: Pruszek (1980), Szafrński i Lipski (1982), Brandini i Rebello (1994), Rakusa-Suszczewski (1995). Rozumiem, że często są to artykuły bardzo wstępnie charakteryzujące środowisko morskie obszaru badań (co często wynikało z ówczesnych ograniczeń logistycznych i technologicznych), natomiast powinno się odpowiednio doceniać wkład pierwszych badaczy w stan wiedzy.

W następnym kroku autorzy opisują krótko dane pomiarowe, scharakteryzowane szczegółowo w pierwszym artykule wchodzącym w skład rozprawy (Osińska i in., 2023), oraz przedstawiają sposób wyliczania miąższości warstwy wysłodzonej kolumny wody (z ang. *freshwater thickness, FWT*). Następnie charakteryzują sezonową zmienność *FWT* w różnych obszarach Zatoki Admiralicji, co umożliwia analizę występowania „mas wodnych o charakterze glacialnym” (z ang. *glacially modified water, GMW*). W ten sposób zostaje scharakteryzowana typowa dwuwarstwowa stratyfikacja Zatoki Admiralicji – z wysłodzoną GMW ponad warstwą wody o wyższym zasoleniu. Taka struktura pozwala zaklasyfikować Zatokę Admiralicji jako taką, dla której przepływy w poprzek osi zatoki mają znaczenie (decyduje relacja promienia deformacji Rossby’ego do szerokości zatoki). Co więcej, autorzy wykazują, że w miejscu badań ciepła woda głębinowa najprawdopodobniej nie dociera do czół lodowców – przeciwnie do sytuacji np. w wielu fiordach Grenlandii. Szkoda tylko w tym kontekście, że Autorom brakuje danych obserwacyjnych dla głębokości poniżej 100 m. **Mimo wszystko te rezultaty (i niekiedy spekulacje) są nowym wkładem do stanu wiedzy o funkcjonowaniu Zatoki Admiralicji i stanowią doskonały punkt wyjścia do analizy znaczenia spływu słodkiej wody lodowcowej dla struktury termiczno-zasoleniowej i cyrkulacji w zatoce – z wykorzystaniem symulacji numerycznych.**

W symulacjach skorzystano z modelu hydrodynamicznego Delft3D. Użyty model został bardzo dobrze scharakteryzowany, włączając w to jego geometrię i zastosowane założenia. Jednym z tych założeń była dominacja prądów pływowych nad przepływem generowanym działalnością wiatru dla rozpatrywanych ram czasowych (kilka cykli pływowych). Jest to dość duże uproszczenie, jednak umotywowane w wystarczający sposób i moim zdaniem zasadne na tym etapie prac. Ponadto, autorzy testowali model dla różnych parametrów szorstkości dna oraz różnych scenariuszy wypływu słodkiej wody z lodowców – przez dostawę z całej powierzchni zanurzonej oraz ze źródeł subglacialnych. Świadczy to o dużym nakładzie pracy Doktorantki przy wyborze ostatecznych założeń modelowania. **Przed wszystkim wykazano, że o ile dla lokalnej sytuacji w wewnętrznych zatokach lodowcowych umiejscowienie źródeł słodkiej**

wody w podwodnej części lodowca ma znaczenie, o tyle dla identyfikacji najważniejszych wzorców w cyrkulacji i strukturze termiczno-zasileniowej w Zatoce Admiralicji jest ono **pomijalne**. W rezultacie, we właściwych symulacjach założono, że lodowce dostarczają słodką wodę całą swą powierzchnią zanurzoną (tj. odpływ jest homogeniczny, nie zmienia się z głębokością). Modelowanie przeprowadzono dla szeregu różnych wartości odpływu przypadających na 1 km² zanurzonej powierzchni klifu lodowca (mniej i bardziej realistycznych).

Na początku Autorzy wykorzystali analizę PCA danych zmierzonych i wyników modelowych do potwierdzenia, że pływy są głównym mechanizmem odpowiedzialnym za zmianę poziomu morza w Zatoce Admiralicji w skali kilku cykli pływowych. Jest to prawdziwe nawet dla maksymalnego modelowanego spływu wody z lodowców (60 m³/s przypadające na 1 km² lodu), co w zasadzie było do przewidzenia. Następnie, główne wyniki modelowania pokazano dla trzech parametrów: *FWT*, prędkości przepływu oraz głębokości pynokliny. Dokonano kilku bardzo ważnych obserwacji. Po pierwsze, **główny wzorzec cyrkulacji w Zatoce Admiralicji – dwukomórkowy, cyklonalny – generalnie zostaje zachowany dla wszystkich modelowanych wartości spływu wody lodowcowej**. Po drugie, wymiana wody pomiędzy zatoką i oceanem traci na efektywności po przekroczeniu progu modelowanej dostawy wody lodowcowej; próg ten mieści się w przedziale od 14 do 28 m³/s (na 1 km² lodu). Po trzecie, woda wysłodzona kumuluje się w północno-wschodniej części Zatoki Admiralicji. Zastanawiam się jednak, jaki wpływ na ten konkretny rezultat ma (słuszny ponieważ) brak uwzględnienia „ruchomych” źródeł słodkiej wody, tj. dryfujących po zatoce mniejszych brył lodu lodowcowego i gór lodowych. W końcu lodowce dostarczają słodką wodę nie tylko przy samych swoich klifach. Wreszcie, **w wewnętrznych zatokach lodowcowych tworzą się pionowe komórki cyrkulacyjne napędzane spływem wód lodowcowych**. Wyniki te przedstawiają wysoki walor poznawczy wnosząc nowy wkład w naukę. Co ciekawe, w zatoce wewnętrznej MacKellar cyrkulacja pionowa nasila się wraz ze zwiększeniem dostawy słodkiej wody, jednak w zatoce wewnętrznej Martel wydaje się występować pewna progowa wartość dostawy, od której wymiana wody staje się mniej efektywna (patrz: Fig. 9 X-Y, str. 13 artykułu; obniżanie prędkości przepływu w warstwie poniżej 50 m). Autorzy nie omawiają tego efektu. Możliwe, że jest on analogiczny do modyfikacji przepływu w głównej komórce cyrkulacyjnej Zatoki Admiralicji. Być może Doktorantka ma własną interpretację tego mechanizmu.

Końcowym zagadnieniem poruszonym w publikacji jest oszacowanie ilościowej zmienności dopływu słodkiej wody z lodowców. W tym celu Autorzy w sposób nowatorski

zestawili z sobą wartości *FWT* otrzymane z danych pomiarowych oraz modelowania. W związku z tym, że modelowano *FWT* dla różnych wartości dostawy wody lodowcowej, możliwe było określenie jej sezonowości na podstawie zbieżności z pomiarami wykonywanymi w wybranych okresach roku. Wyznaczono również zakresy, w których mieści się ta dostawa (na 1 km² lodu). Wedle mojej wiedzy **jest to najprawdopodobniej pierwsze tak dokładne określenie zmienności dostawy słodkiej wody poprzez topnienie lodowców dla zatoki z rejonu Półwyspu Antarktycznego**. Co szczególnie istotne, wyniki nie są ograniczone do sezonu letniego, a tym samym wyróżniają się na tle większości innych opracowań także w szerszej skali rejonów polarnych. Osiągnięte rezultaty mają duże znaczenie, gdyż wraz z postępującymi zmianami klimatu zanik lodowców będzie dalej przyspieszał. Konieczne jest monitorowanie tego procesu i jego wpływu na środowisko zatok lodowcowych (m.in. cyrkulację, stratyfikację, ekologię). Nasuwa się jednak pytanie: jakie znaczenie dla wartości modelowanych *FWT* (i w konsekwencji szacowanej dostawy słodkiej wody) ma brak uwzględnienia siły wymuszającej wiatru?

Chciałbym jeszcze zwrócić uwagę na pewne drobne niedociągnięcia edytorskie w drugiej publikacji wchodzącej w skład rozprawy. Niekiedy brakuje oznaczeń na rysunkach – na przykład dla obu osi na rycinach 7 B-E oraz 9 F-Y (jednostki, opisy). Zdarzają się również drobne błędy w samej treści artykułu. Jednym z przykładów jest stwierdzenie ze strony dziewiątej (wiersze 12-13), że najwyższe wartości *FWT* obserwuje się w północno-zachodniej części Zatoki Admiralicji (powinno być, że w północno-wschodniej). Innym razem brakuje fragmentu tekstu lub wstawiono nadmiarowe słowa, jak na przykład dla odniesień do rycin 8A i 8U na str. 13 (wiersz 12; „Figure 8U and Figure 8A for”). Tych uchybień jest niewiele i nie zmieniają one bardzo wysokich walorów pracy, jednak na przyszłość Doktorantka powinna zwrócić nieco większą uwagę na stronę edytorską swoich publikacji.

W trzecim artykule (Osińska i Herman; manuskrypt w recenzji) Autorzy skupiają się na analizie wpływu wiatrów wiejących w poprzek Zatoki Admiralicji na cyrkulację mas wodnych, stratyfikację i produkcję pierwotną. Jest to nowe zagadnienie badawcze. Dotychczas analizowano przede wszystkim rolę wiatrów oddziałujących wzdłuż osi zatok i fiordów lodowcowych. Podjęcie się problemu badawczego znaczenia wiatrów wiejących w poprzek zatoki było motywowane m.in. obserwacjami żerowisk pingwinów i wielorybów w określonych lokalizacjach. Takie obserwacje miały miejsce także w czasie silnych wiatrów. Przeczy to powszechnie obowiązującej teorii, że produkcji pierwotnej sprzyja silna stratyfikacja (czyli de facto bezwietrzne warunki).

We wstępie do manuskryptu wskazano, że w obrębie Zatoki Admiralicji dominują wiatry zachodnie oraz północno-zachodnie. Z drugiej strony najsilniejsze sztormy mają miejsce w trakcie wiatrów wschodnich, które często uniemożliwiają wykonywanie pomiarów oceanograficznych. Reasumując: **najsilniejsze i najczęstsze wiatry wieją w poprzek osi zatoki, co w pełni uzasadnia potrzebę oceny ich wpływu na procesy hydrodynamiczne i biologiczne.** Autorzy w sposób wyczerpujący opisują dotychczasowy stan wiedzy na temat stratyfikacji wód w zatoce oraz źródeł żelaza – pierwiastka potencjalnie kluczowego dla intensywności produkcji pierwotnej. Tymi potencjalnymi źródłami są przede wszystkim spływy wody lodowcowej, wody głębinowe (z ang. *bottom water*, BW) wynoszone na powierzchnię morza w procesie upwellingu oraz masy wodne dopływające do Zatoki Admiralicji z cieśniny Bransfielda (z ang. *open boundary water*, OB). Co istotne, ta charakterystyka jest umieszczona w szerokim kontekście innych zatok i fiordów lodowcowych. Wstęp jest napisany bardzo przystępnie, jak powinno się oczekiwać od manuskryptu wysłanego do czasopisma o bardzo wysokim współczynniku wpływu (*Scientific Reports*).

W analizach Autorzy wykorzystali szereg różnych danych i modeli. Po pierwsze, po raz kolejny zastosowano model hydrodynamiczny Delft3D. Tym razem uwzględniono jednak siłę wymuszającą wiatru. Co także istotne, spływ wody słodkiej z lodowców założony w modelu zaczerpnięto z wyników analiz z drugiej publikacji wchodzącej w skład rozprawy (Osińska i Herman, 2024). Ponadto, model Delft3D został dodatkowo uzupełniony modelem śledzenia cząstek (jako elementów objętości cieczy) D-WAQ Part. Celem było śledzenie trajektorii transportu i zidentyfikowanie miejsc akumulacji trzech wymienionych wcześniej typów wód, potencjalnie bogatych w żelazo: GMW, BW oraz OB. Wybór modeli oraz ich geometrii i założeń startowych nie budzą żadnych zastrzeżeń. Po drugie, wykorzystano oceanograficzne dane pomiarowe, które zostały szczegółowo opisane w pierwszej publikacji wchodzącej w skład rozprawy (Osińska i in., 2023); w sposób szczególny uwzględniono pomiary chlorofilu *a*. Wreszcie, Autorzy użyli szeregu innych dostępnych publicznie danych uzupełniających: modelowanych kierunków i prędkości wiatru (*Antarctic Mesoscale Prediction Model*), a także stężeń chlorofilu *a* w wodach powierzchniowych opracowanych z użyciem szeregu różnych danych satelitarnych (*Glob Colour*). Należy podkreślić, że pozyskanie wysokiej jakości obrazów w świetle widzialnym jest niezwykle trudne dla obszaru badań; wynika to z często występującego zachmurzenia. **Łączenie różnego typu danych oraz metod analiz imponuje, gdyż świadczy nie tylko o ogromnym nakładzie pracy Doktorantki, ale także o doskonałym opanowaniu skomplikowanego warsztatu metodologicznego.**

Pierwsze rezultaty analiz modelowych dotyczą procesów mieszania mas wody w centralnej części Zatoki Admiralicji i jej zatokach wewnętrznych. Wykazano, że zarówno wiatry wschodnie jak i zachodnie prowadzą do intensyfikacji mieszania wód w centrum zatoki, przy czym w przypadku tych pierwszych energia kinetyczna jest zdecydowanie niższa. Niemniej jednak, **silne wiatry wschodnie mogą nawet dwukrotnie zwiększyć eksport wód z Zatoki Admiralicji w kierunku cieśniny Bransfielda**. Autorzy wskazują także, że wiatry zachodnie – w przeciwieństwie do wiatrów wschodnich – skutkują wzmożonym mieszaniem wód w zatokach wewnętrznych Ezcurra oraz Martel. Trudno jednak ten efekt zauważyć na rycinach 2 b-d, natomiast wykresy liniowe energii kinetycznej na rycinie 2 d dotyczą sytuacji uśrednionej dla całego obszaru badań. Zabrakło uśrednionych wykresów liniowych energii kinetycznej dla wybranych obszarów.

Kolejna część rezultatów dotyczy efektów śledzenia elementów mas wodnych GMW, BW i OB przy różnych warunkach wiatrowych. Jak wykazano, **silne wiatry wschodnie hamują napływ OB do Zatoki Admiralicji, a także efektywnie eksportują GMW oraz BW poza zatokę**. Tym samym, powodują warunki niesprzyjające produkcji pierwotnej, ponieważ usuwają składniki odżywcze z zatoki. Z kolei wiatry zachodnie pozwalają na dłuższe utrzymywanie się mas wodnych potencjalnie bogatych w żelazo i inne składniki odżywcze w obrębie zatoki. Kierunek wiatru wydaje się mieć również istotny wpływ na obecność różnych mas wodnych w zatokach wewnętrznych. Co niezwykle istotne, **w świetle wyników symulacji numerycznych wody typu BW są wynoszone na głębokość około 100 m niezależnie od warunków wiatrowych**. Czas takiego wynoszenia to około dwóch tygodni, a jego „siłą napędową” jest morfologia dna Zatoki Admiralicji połączona z typowymi wzorcami przepływów w zatoce.

Kolejna część analiz dotyczy wpływu wiatrów wiejących w poprzek Zatoki Admiralicji na szczegółowe wzorce przepływów pionowych i poziomych oraz na lokalne zagęszczenia mas wodnych GMW i BW w różnych warstwach kolumny wody. Te wyniki znakomicie obrazuje rycina nr 4. Moim zdaniem są dwa najważniejsze rezultaty tych analiz. Po pierwsze, **wiatry zachodnie powodują powstawanie struktur wirowych w rejonach wejść do zatok wewnętrznych**. Jak wskazują wyniki modelowania, wiry te mogą powodować lokalną akumulację mas wodnych bogatych w składniki odżywcze (GMW i OB). Po drugie, **silne wiatry wschodnie generują upwelling w południowo-wschodniej części Zatoki Admiralicji, który wzmacnia opisany wcześniej efekt eksportu GMW, BW i OB**. Ponadto,

objaśniono możliwe przyczyny braku efektywności wiatrów zachodnich w eksportowaniu mas wodnych z obszaru badań (m.in. cyrkulację antycyklonalną wód w warstwie powierzchniowej).

Ostatecznie Autorzy skupiają się bardziej szczegółowo na wirach wytwarzanych przez wiatry zachodnie. Wysuwają hipotezę, że **w związku z akumulowaniem elementów mas wodnych GMW i BW (dostarczających żelazo) w strefie eufotycznej, wiry mogą stanowić lokalne centra wzmożonej produkcji pierwotnej – nawet w okresie silnych wiatrów, gdy ogólny poziom stratyfikacji w zatoce spada**. Jest to bardzo ciekawa i nowa koncepcja, która do pewnego stopnia znajduje potwierdzenie w zmianach stężeń chlorofilu *a* uzyskanych z pomiarów oraz danych pobranych z bazy *Glob Colour*, a także jest spójna z obserwacjami terenowymi miejsc żerowania wielorybów i pingwinów. Niewątpliwie przydałoby się uzyskanie większej liczby pomiarów w okresie silnych wiatrów, chociaż prowadzenie badań z małych łodzi w takich warunkach może być bardzo niebezpieczne. Niezależnie od tego wyniki pokazują, że **kierunek wiatru — nie tylko jego siła wpływająca na ogólną stratyfikację — jest istotnym czynnikiem kształtującym procesy biologiczne w Zatoce Admiralicji**. Bardzo prawdopodobne jest, że w innych zatokach Antarktyki sytuacja jest analogiczna. W mojej ocenie stanowi to najważniejszy i naukowo bardzo cenny rezultat pracy doktorskiej.

Mocne strony rozprawy

W mojej ocenie rozprawa doktorska wyróżnia się w następujących kwestiach:

1. Doktorantka brała udział w pracach wymagających szczególnych umiejętności logistycznych oraz dużego wysiłku: planowania i wykonywania pomiarów w Antarktyce (w bardzo trudnych warunkach środowiskowych), a także nadzorowania prac terenowych prowadzonych przez obserwatorów.
2. Zaprezentowane w rozprawie doktorskiej badania łączą oceanografię obserwacyjną z modelowaniem numerycznym. Połączenie analiz obserwacji terenowych z symulacjami wymagało uzyskania wszechstronnej wiedzy i umiejętności oraz zastosowania ich w praktyce. Rzadko się to zdarza na tak wczesnym etapie kariery naukowej.
3. Uzyskane rezultaty znacząco poszerzają naszą wiedzę na temat funkcjonowania zatok lodowcowych – nie tylko w zakresie oceanografii fizycznej, ale także badania procesów biologicznych (identyfikacja obszarów o wzmożonej produkcji pierwotnej w okresie silnych wiatrów zachodnich, a także uzasadnienie ich występowania).

4. Wyniki są często przedstawiane w sposób krytyczny: uwzględniono pewne mankamenty związane z metodologią pomiarów terenowych oraz ograniczenia wynikające z założeń wprowadzonych do symulacji numerycznych. Niekiedy wprost padają stwierdzenia, że dane zagadnienie jest poza zakresem badań, z jednoczesnym podkreśleniem jego istotności. Przykładem jest problem badawczy lokalnej cyrkulacji w zatokach lodowcowych i roli punktowych wpływów subglacjalnych w jej kształtowaniu. Świadczy to o dojrzałości naukowej Doktorantki.
5. Artykuły wchodzące w skład rozprawy tworzą bardzo spójną i logiczną całość. Co więcej, każdy kolejny artykuł korzysta z wyników/danych opisanych w poprzednim. Rozprawa została więc bardzo dobrze przemyślana, a kolejne kroki są często następstwem wcześniejszych rezultatów.
6. W mojej ocenie jakość rycin jest na ponadprzeciętnym poziomie.

Słabsze strony rozprawy

Bardzo wysoka jakość naukowa rozprawy nie podlega najmniejszej wątpliwości. Należy jednak odnotować pewne mankamenty:

1. We wprowadzeniu brakuje mi szczegółowego umiejscowienia wszystkich celów badań w dotychczasowym stanie wiedzy. Rozumiem, że rozprawa przedstawiana jest jako cykl publikacji, jednak moim zdaniem nie zwalnia to z obowiązku dokładnego uzasadnienia podjętej tematyki badawczej.
2. W części publikacji nie przedstawiono choćby skrótowo wyników historycznych badań oceanograficznych prowadzonych w miejscu badań.
3. Szkoda, że pomiary oceanograficzne były wykonywane tylko do głębokości 100 m oraz nie obejmowały okresów bardzo silnych wiatrów. Rozumiem jednak, że występowały problemy technologiczne oraz dbano o bezpieczeństwo prac.
4. W szacunkach spływu wody lodowcowej — opartych na pomiarach i modelowaniu *FWT* — brakuje uwzględnienia wymuszenia wiatrowego.
5. Niekiedy przydałyby się dodatkowe ryciny. Przykładem są wykresy liniowe zmienności energii kinetycznej z głębokością dla różnych zatok wewnętrznych.

6. Wkradło się trochę uchybień edytorskich w postaci braku części oznaczeń na rycinach, błędnych opisów, a także brakujących lub nadmiarowych słów i znaków. Jest ich jednak na tyle mało, że nie rzutują na bardzo wysoką jakość prezentowanych wyników.

Kwestie warte dalszego wyjaśnienia

Wartościowe byłoby udzielenie odpowiedzi przez Doktorantkę na następujące pytania:

1. W modelowaniu założono, że źródła wody lodowcowej są rozmieszczone wzdłuż czoł lodowców uchodzących do morza. Jaka może być potencjalna rola wytapiania dryfujących brył lodu lodowcowego – w tym dużych gór lodowych – na procesy fizyczne i biologiczne w Zatoce Admiralicji? Zaznaczam, że chodzi mi nie tyle o nowe rezultaty, co o spekulacje w oparciu o aktualny stan wiedzy o funkcjonowaniu zatok i fiordów lodowcowych oraz własne doświadczenia z prac w terenie.
2. Dlaczego przepływ w pionowej komórce cyrkulacyjnej zatoki wewnętrznej Martel nie wzrasta wraz ze zwiększeniem spływu wody słodkiej z lodowców (Fig. 9 X-Y, Osińska i Herman, 2024)? Takie stopniowe zwiększanie widać bardzo wyraźnie dla zatoki wewnętrznej MacKellar (Fig. 9 P-T, Osińska i Herman, 2024). Z czego może wynikać ta różnica pomiędzy tymi zatokami?
3. Czy w świetle wszystkich uzyskanych przez siebie wyników symulacji numerycznych Doktorantka widzi ograniczenia związane z brakiem pomiarów oceanograficznych poniżej głębokości 100 m? Jeśli tak, to jakie są te ograniczenia?
4. Czy zastosowanie systemów kotwiczonych na dnie (z ang. mooringów) byłoby cenne? Jeśli tak, to z jakiego powodu i gdzie powinny zostać umieszczone?
5. Czy uwzględnienie siły wymuszającej wiatru w analizach opisanych w drugiej publikacji wchodzącej w skład rozprawy (Osińska i Herman, 2024) miałoby znaczący wpływ na szacunki wypływu słodkiej wody z lodowców oparte o porównanie danych i wyników modelu dla *FWT*? Chodzi mi o dyskusję w kontekście wszystkich obserwacji poczynionych w ramach pracy doktorskiej.

Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr Marii Osińskiej **spełnia wszystkie wymagania** określone w art. 187 ust. 1-3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (ze zm.). Przedstawione osiągnięcia Doktorantki dotyczą oryginalnego rozwiązania problemu naukowego i dokumentują ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W związku z powyższym, **zwracam się do Wysokiej Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Uniwersytetu Gdańskiego z wnioskiem o dopuszczenie Pani mgr Marii Osińskiej do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia naukowego doktora.**

Chciałbym podkreślić, że przedstawiona rozprawa wskazuje na dużą samodzielność Doktorantki (wyraźnie dominujący wkład w artykuły), a także doskonałe opanowanie warsztatu metodologicznego. Jednocześnie przedstawione podejście jest często nowatorskie (np. określanie dopływu słodkiej wody z lodowców), a wiele rezultatów rzeczywiście wnosi nowy i ważny wkład w naszą wiedzę o funkcjonowaniu zatok lodowcowych – zarówno w zakresie oceanografii fizycznej, jak i biologicznej, a także glaciologii. Dlatego **wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej** Pani mgr Marii Osińskiej.

Literatura

Brandini, F. P., Rebello, J. (1994). Wind field effect on hydrography and chlorophyll dynamics in the coastal pelagial of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Antarctic Science*, 6(4), 433 – 442.

Pruszek, Z. (1980). Currents circulation in the waters of Admiralty Bay (region of Arctowski Station on King George Island). *Polish Polar Research*, 16(1-2), 61-70.

Rakusa-Suszczewski, S. (1995). The hydrography of Admiralty Bay and its inlets, coves and lagoons (King George Island, Antarctica). *Polish Polar Research*, 1(1), 55-74.

Szafański, Z., Lipski, M. (1982). Characteristics of water temperature and salinity at Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands Antarctic) during the austral summer 1978/1979. *Polish Polar Research*, 3(1-2), 7-24.