



prof. dr hab. Witold Szczuciński,
Instytut Geologii,
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Recenzja pracy doktorskiej
Pani magister Marii Osińskiej pt.
Rola dopływu wód lodowcowych i wiatru w kształtowaniu cyrkulacji i produktywności w
antarktycznej zatoce lodowcowej

napisanej pod opieką promotorów: prof. IO PAN dr hab. Agnieszki Herman i prof. IBB PAN dr hab. Roberta Józefa Bialika

1. Uwagi wstępne

Recenzowana rozprawa doktorska pani magister Marii Osińskiej wpisuje się w bardzo aktualny i ważny nurt badań nad funkcjonowaniem ekosystemów polarnych w warunkach szybkich zmian klimatu. Zachodzące w rejonie Półwyspu Antarktycznego ocieplenie, zmiany w reżimie wiatrów, przyspieszona ablacja i recesja lodowców oraz zmniejszenie zasięgu lodu morskiego powodują przekształcenie ekosystemów przybrzeżnych zatok lodowcowych. Obszary te stanowią z jednej strony główne drogi dopływu wód roztopowych z lodowców do Oceanu Południowego, z drugiej, są strefami intensywnej produkcji biologicznej, kluczowymi dla funkcjonowania łańcuchów troficznych oraz obiegu węgla w systemie antarktycznym.

W tym kontekście praca pani magister Marii Osińskiej, poświęcona roli dopływu wód lodowcowych oraz wiatru w kształtowaniu cyrkulacji i potencjału produktywności pierwotnej w antarktycznej zatoce lodowcowej, ma znaczenie wykraczające poza badany przypadek Zatoki Admiralicji (Admiralty Bay) na Wyspie Króla Jerzego, położonej w archipelagu Szetlandów Południowych na północ od Półwyspu Antarktycznego. Zatoka Admiralicji jest szeroką, złożoną morfologicznie zatoką lodowcową, z dwudziestoma lodowcami uchodzącymi bezpośrednio do morza, rozbudowanym systemem zatok wewnętrznych oraz bez wyraźnego progu oddzielającego ją od Cieśniny Bransfielda. Autorka świadomie traktuje ją jako przykładowy obszar dla zatok lodowcowych zachodniego Półwyspu Antarktycznego, starając się na jej przykładzie odpowiedzieć na pytanie, jakie mechanizmy kształtują cyrkulację w tego typu systemach oraz na ile rozpoznane zależności mogą być reprezentatywne dla szerszego regionu.

Rozprawa koncentruje się na dwóch głównych czynnikach (wymuszeniach):
– dopływie wód lodowcowych z lodowców uchodzących bezpośrednio do Zatoki Admiralicji oraz jego sezonowej zmienności,

– wymuszeniu wiatrowym, w szczególności wiatrach wiejących w poprzek głównej osi zatoki, które w świetle dotychczasowych badań w regionie były czynnikiem słabiej rozpoznanym.

Doktorantka łączy tu rozległą, kilkuletnią kampanię obserwacyjną (obejmującą kilka tysięcy pionowych profilowań parametrów fizycznych i chemicznych wód Zatoki Admiralicji) z trójwymiarowym modelowaniem numerycznym za pomocą pakietu Delft3D-FLOW oraz modelowaniem Lagrange’owskim D-WAQ PART. Takie podejście, integrujące dane in situ z zaawansowanym modelowaniem trójwymiarowym w jednej, spójnej koncepcji badawczej, jest obecnie standardem w najlepszych pracach z zakresu oceanografii fizycznej i biogeochemicznej zatok lodowcowych. W przypadku Zatoki Admiralicji ma ono jednak charakter pionierski, zarówno ze względu na skalę zgromadzonych danych, jak i na sposób ilościowego ujęcia roli lodowcowych wód ablacyjnych i wiatrów poprzecznych w kształtowaniu hydrodynamiki oraz potencjalnej produktywności tego systemu.

2. Opis przedstawionej rozprawy

Przedstawiona rozprawa doktorska ma formę rozprawy opartej na zestawie trzech anglojęzycznych publikacji wieloautorских (2 do 3 współautorów) uzupełnionych o jednostronicowe streszczenia w języku polskim oraz w języku angielskim, podsumowanie pracy (w języku angielskim – 17 stron) oraz oświadczenia współautorские. Przedstawione artykuły zostały opublikowane w cenionych czasopismach: *Earth System Science Data*, *Frontiers in Marine Science*, oraz *Scientific Reports* (w recenzji), a doktorantka jest pierwszą autorką we wszystkich artykułach, zaś jej wkład zgodnie z oświadczeniami współautorów wynosi między 80 a 90%.

Rdzeń pracy tworzą rozdział wstępny „Introduction” oraz trzy artykuły naukowe, z których dwa zostały już opublikowane, a trzeci jest po pierwszej rundzie recenzji:

- 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.
- 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.
- Osińska, M. & Herman, A. (w rewizji) Hydrodynamic response of an Antarctic glacial bay to cross-bay winds and its potential impact on primary production. *Scientific Reports*, po pierwszej rundzie recenzji.

W części wprowadzającej Doktorantka precyzyjnie formułuje sześć celów badawczych. Obejmują one stworzenie kompleksowego zbioru danych hydrograficznych dla Zatoki Admiralicji (1), identyfikację charakteru cyrkulacji w zatoce (2) oraz ocenę wrażliwości tej cyrkulacji na zmiany dopływu wód lodowcowych (3), w szczególności w kontekście zmienności sezonowej (4). Kolejne

cele dotyczą roli wymuszenia wiatrowego (5) oraz wpływu dominujących wiatrów o kierunku poprzecznym do osi zatoki na produktywność pierwotną (6).

Wszystkie te cele są w sposób przejrzysty powiązane z trzema publikacjami:

- cel 1 realizowany jest głównie w pierwszej pracy (Osińska i in. 2023), przedstawiającej zbiór danych pomiarowych i jego charakterystykę,
- cele 2-4 są przedstawione w drugiej publikacji (Osińska i Herman, 2024) dotyczącej cyrkulacji, jej wrażliwości na dopływ wód roztopowych i jego sezonowość,
- z kolei cele 5 i 6 są poruszone w ostatniej publikacji (Osińska i Herman, w recenzji), która przedstawia aspekty roli wiatrów poprzecznych do osi zatoki w kształtowaniu cyrkulacji, retencji wody w zatoce i potencjalnego wpływu na zmiany w produktywności pierwotnej.

2.1. Publikacja 1. Osińska i in. (2023): *Annual hydrographic variability in Antarctic coastal waters infused with glacial inflow*.

Pierwszy artykuł ma charakter w dużej mierze dokumentacyjny, stanowiąc zarazem niezbędny fundament dla dalszych analiz modelowych. W latach 2018–2022 (38 miesięcy, XII 2018 – I 2022) wykonano 3045 pionowych profilowań właściwości fizycznych i chemicznych wody w 31 lokalizacjach w Zatoce Admiralicji. Do mierzonych parametrów należały: temperatura wody, przewodnictwo elektryczne (zasolenie), odczyn pH, zmętnienie, stężenie tlenu rozpuszczonego, rozpuszczona materia organiczna, chlorofil a oraz fikoerytryna. Parametry te dokumentowane były w kolumnie wody do głębokości 100 m. Stacje pomiarowe podzielono na trzy strefy: zatoki przylodowcowe, otwarte wody głównej części Zatoki Admiralicji oraz zatokę Ezcurra Inlet. Zestaw danych obejmuje średnio około 98 profili na każdą stację, a pomiary prowadzono we wszystkich porach roku.

W artykule szczegółowo opisano procedury kalibracji czujników, w tym problemy z ujemnymi odczytami niektórych sensorów, a także przyczyny możliwych błędów pomiarowych, brakujących danych i ograniczeń uzyskanych wyników. Serie pomiarowe zostały następnie przeanalizowane pod kątem ich reprezentatywności dla poszczególnych obszarów i pór roku.

Analiza merytoryczna przedstawionego materiału jest celowo ograniczona, częściowo rozwinięta została dopiero w kolejnych publikacjach, ponieważ artykuł z założenia koncentruje się na opisie metod uzyskania i jakości przedstawionej bazy danych. Zbiór ten został udostępniony m.in. w repozytorium PANGAEA i jest pomyślany jako punkt wyjścia do dalszych analiz interdyscyplinarnych, w tym hydrodynamicznych, biogeochemicznych i ekologicznych.

Z przedstawionych obserwacji wynika, że w zakresie objętym pomiarami kolumna wody w Zatoce Admiralicji jest, poza cienką warstwą powierzchniową, słabo stratyfikowana do głębokości około 100 m. Równocześnie różnice właściwości mas wodnych pomiędzy analizowanymi strefami: zatokami przylodowcowymi, Ezcurra Inlet oraz częścią centralną zatoki, wynikają głównie z ich położenia względem czoł lodowców i otwartego oceanu.

Jest to niewątpliwie jedna z nielicznych tak bogatych serii pomiarowych uzyskanych w warunkach antarktycznych. Inne kolekcje danych, choć niekiedy obejmujące dłuższe szeregi czasowe (np. praca Venables i in. (2023), prezentujące 20 lat monitoringu w zatoce Sheldon Cove w sąsiedztwie brytyjskiej stacji Rothera), nie charakteryzują się porównywalnym zasięgiem przestrzennym.

Z oświadczeń wkładu autorskiego wynika, że Doktorantka była współautorką koncepcji badań i opracowania programu pomiarowego, brała udział w pracach terenowych, zarządzała danymi pomiarowymi i przeprowadziła ich walidację, przygotowała ryciny oraz napisała pierwszą wersję artykułu.

2.2. Publikacja 2. Osińska & Herman (2024): *Influence of glacial influx on the hydrodynamics of Admiralty Bay, Antarctica – study based on combined hydrographic measurements and numerical modeling.*

Drugi artykuł stanowi rozbudowane studium hydrodynamiki Zatoki Admiralicji, oparte na połączeniu danych obserwacyjnych z Publikacji 1 oraz trójwymiarowego modelu numerycznego Delft3D-FLOW. Model obejmuje całą zatokę, z otwartą granicą od strony Cieśniny Bransfielda, a kolumna wody została podzielona na 50 warstw w pionie (układ sigma), co pozwala na realistyczne odwzorowanie zarówno cyrkulacji w głębszej części zatoki, jak i w płytszych zatokach wewnętrznych. Wymuszenia obejmują pływy oraz warunki hydrograficzne na granicy otwartej, a dane *in situ* z kampanii pomiarowej Osińskiej i in. (2023) wykorzystano jako warunki początkowe w modelu.

W pracy zidentyfikowano ogólny wzór cyrkulacji w zatoce, charakteryzujący się prądem wpływającym wzdłuż zachodniego brzegu, prądem wypływającym wzdłuż wschodniego wybrzeża oraz dwiema głównymi cyklonicznymi komórkami cyrkulacyjnymi w obrębie centralnej części zatoki. Wpływ tej cyrkulacji na zatoki wewnętrzne (Ezcurra, MacKellar, Martel) okazał się ograniczony, co wynika m.in. z ich batymetrii. Wyniki te są spójne z wcześniejszymi jakościowymi obserwacjami, jednak dopiero w tej pracy uzyskano ich ilościową ocenę z użyciem trójwymiarowego modelowania numerycznego.

W dalszej części artykułu Autorki przeanalizowały wrażliwość systemu na dostawę wód lodowcowych. Testując różne konfiguracje, wykazały, że na potrzeby skali przeprowadzanego modelowania dopuszczalne jest uproszczone założenie przestrzennie równomiernej dostawy lodowcowych wód ablacyjnych z całej powierzchni klifów lodowców uchodzących do zatoki, traktowanej jako dostawa o zerowej poziomej prędkości początkowej. Powstały w ten sposób zestaw 14 scenariuszy modelowych pozwolił ocenić, w jaki sposób wzrost dopływu wód lodowcowych wpływa na hydrodynamikę zatoki. Autorki podkreślają jednocześnie, że takie uproszczenie może prowadzić do nierealistycznych warunków w bezpośrednim sąsiedztwie czoł lodowców. W skali całej Zatoki Admiralicji głównym czynnikiem kształtującym cyrkulację pozostaje oceaniczne

wymuszenie z Cieśniny Bransfielda, natomiast wzrost dopływu wód roztopowych najsilniej modyfikuje zjawiska lokalne, zwłaszcza w zatokach wewnętrznych, takich jak Ezcurra Inlet.

Na podstawie porównania modelowanych i obserwowanych wartości udziału wód słodkich w warstwie powierzchniowej dokonano pierwszej szczegółowej oceny sezonowej zmienności dopływu lodowcowych wód roztopowych do Zatoki Admiralicji. Oszacowano, że całkowita ich dostawa wynosi 0,434–0,632 Gt/rok, z maksimum pod koniec lata i znikomym dopływem zimą i wczesną wiosną. Jest to jedno z kluczowych osiągnięć Publikacji 2, ponieważ wcześniej brakowało danych pozwalających na ilościowe opisanie sezonowego cyklu dostawy wód słodkich.

Interesującym i ważnym wynikiem jest również identyfikacja progowej wartości dostawy wód lodowcowych, szacowanej na 14–28 m³/s na kilometr klifu lodowcowego. Przekroczenie tego progu może prowadzić do znaczącego ograniczenia wymiany wód między Zatoką Admiralicji a otwartym oceanem. Choć wartości tego rzędu nie występują obecnie, scenariusz taki ma znaczenie prognostyczne w kontekście przewidywanego zwiększania się dostaw wód roztopowych wraz z ocieplaniem klimatu.

Zgodnie z oświadczeniami, Doktorantka była współautorką koncepcji pracy i metodologii, przygotowała wszystkie dane wejściowe do modelu, przeprowadziła obliczenia i analizy, przygotowała ryciny, napisała pierwszą wersję artykułu oraz pełniła rolę autorki korespondencyjnej.

2.3. Publikacja 3. Osińska, M., & Herman, A. (w rewizji): *Hydrodynamic response of an Antarctic glacial bay to cross-bay winds and its potential impact on primary production*.

Trzeci artykuł rozszerza zakres badań, koncentrując się na roli wiatrów poprzecznych do osi zatoki jako czynnika modyfikującego hydrodynamikę Zatoki Admiralicji oraz potencjalnie warunki sprzyjające produktywności pierwotnej. Analizowane są zarówno dominujące w regionie wiatry zachodnie, jak i rzadziej występujące, lecz bardzo silne wiatry wschodnie. W pracy wykorzystano ten sam model hydrodynamiczny Delft3D w konfiguracji zbliżonej do tej zastosowanej w Publikacji 2, uzupełnionej o wymuszenie wiatrowe dla siedmiu różnych scenariuszy.

Wyniki modelowania wskazują, że wzrost prędkości wiatru prowadzi do zwiększenia ogólnego poziomu energii kinetycznej w wodach Zatoki Admiralicji oraz do osłabienia stratyfikacji kolumny wody. Wiatry zachodnie wzmacniają cyrkulację głównie w zatokach wewnętrznych, sprzyjając powstawaniu złożonych struktur wirowych, natomiast wiatry wschodnie silnie intensyfikują główną komórkę cykloniczną w głębszej części zatoki i prowadzą do znaczącego zwiększenia wypływu wód z modelowanej domeny.

Kluczowym elementem pracy jest sprzężenie modelu hydrodynamicznego z modelem Lagrange'owskim D-WAQ PART, służącym do śledzenia trajektorii trzech typów mas wodnych: wód powierzchniowych zmodyfikowanych przez lodowcowe wody roztopowe, wód przydennych z najgłębszej części zatoki oraz wód napływających do zatoki z Cieśniny Bransfielda. Przeprowadzone eksperymenty modelowe pokazują, że wiatry wschodnie wzmacniają eksport mas wodnych z zatoki i istotnie skracają czas ich przebywania w jej obrębie, natomiast wiatry zachodnie sprzyjają retencji

mas wodnych. W ujściach zatok wewnętrznych dochodzi wówczas do powstawania wirów submezoskalowych, będących strefami akumulacji wód powierzchniowych, przydennych oraz wód z domieszką wód roztopowych, potencjalnie wzbogaconych w związki żelaza.

W drugiej części artykułu Autorki zestawiają wyniki modelowania z dostępnymi danymi o stężeniu chlorofilu a, pochodzącymi zarówno z pomiarów in situ (Publikacja 1), jak i z danych satelitarnych (GlobColour). Pomimo istotnych ograniczeń obu zbiorów danych, w szczególności braku pomiarów in situ w okresach silnych wiatrów, analiza anomalii chlorofilu a wskazuje lokalnie na statystycznie istotnie wyższe wartości po okresach dominacji wiatrów zachodnich niż wschodnich w obrębie Zatoki Admiralicji. Na tej podstawie Autorki formułują hipotezę, że wiatry zachodnie, poprzez generowanie struktur submezoskalowych, mogą sprzyjać utrzymaniu lokalnie podwyższonej produktywności, podczas gdy silne wiatry wschodnie prowadzą do szybszej utraty składników odżywczych z zatoki.

Zgodnie z oświadczeniami, wkład Doktorantki w tę publikację obejmował współudział w tworzeniu koncepcji badań i metodologii, przygotowanie danych, konfigurację i uruchomienie modeli, analizę i interpretację wyników, przygotowanie rycin, napisanie pierwszej wersji artykułu oraz pełnienie funkcji autorki korespondencyjnej.

3. Ocena merytoryczna pracy, uwagi i pytania

3.1. Ocena ogólna

Przedstawiona rozprawa doktorska pani magister Marii Osińskiej jest pracą spójną tematycznie, nowatorską i bardzo starannie opracowaną. Zarówno załączone publikacje naukowe, jak i części wstępne rozprawy zostały przygotowane z dużą dbałością o poprawność językową, klarowność wywodu oraz precyzję terminologiczną. Na szczególne podkreślenie zasługują rzetelnie opisana metodyka badań, bardzo przemyślana strategia badawcza oraz logiczny i konsekwentny układ całej pracy.

Rozprawa dotyczy zagadnienia o dużym znaczeniu naukowym, roli dopływu wód lodowcowych oraz wiatru w funkcjonowaniu antarktycznych zatok lodowcowych, i bezpośrednio wpisuje się w główne nurty współczesnych badań nad skutkami zmian klimatycznych w wysokich szerokościach geograficznych. Autorka podejmuje problematykę istotną zarówno z punktu widzenia oceanografii fizycznej, jak i badań nad funkcjonowaniem ekosystemów polarnych.

Do najważniejszych osiągnięć i atutów rozprawy należą:

- stworzenie unikatowego, wieloletniego zbioru danych hydrograficznych dla Zatoki Admiralicji, obejmującego wszystkie pory roku, o wysokiej rozdzielczości przestrzennej i czasowej, wraz z jego pełną dokumentacją i udostępnieniem w otwartych repozytoriach danych;
- konsekwentne, ilościowe wykorzystanie tych danych do budowy i walidacji trójwymiarowego modelu hydrodynamicznego szerokiej zatoki lodowcowej pozbawionej wyraźnego progu, będącej relatywnie rzadko modelowaną konfiguracją;

- przeprowadzenie szeregu scenariuszy modelowych pozwalających na ilościową ocenę wpływu dopływu wód lodowcowych oraz wiatru na cyrkulację i wymianę wód w zatoce;
- wyznaczenie sezonowej charakterystyki dopływu wód lodowcowych do Zatoki Admiralicji wraz z oszacowaniem jej wkładu do dopływu wód roztopowych do Oceanu Południowego;
- identyfikacja progowych wartości dopływu wód lodowcowych oraz siły wiatrów poprzecznych, przy których dochodzi do jakościowej zmiany cyrkulacji i czasu wymiany wody, co ma istotny wymiar prognostyczny w kontekście przewidywanych zmian klimatycznych;
- zastosowanie modelowania Lagrange'owskiego do identyfikacji stref retencji mas wodnych oraz zaproponowanie spójnej, fizycznie uzasadnionej koncepcji powstawania lokalnych obszarów o szczególnym znaczeniu ekologicznym, związanych z rolą wirów submezoskalowych generowanych przez wiatry poprzeczne;
- próba powiązania wyników hydrodynamicznych z potencjalną produktywnością pierwotną poprzez analizę danych chlorofilu a pochodzących zarówno z pomiarów in situ, jak i obserwacji satelitarnych.

Poziom merytoryczny załączonych publikacji jest bardzo wysoki, a wybór czasopism (Earth System Science Data, Frontiers in Marine Science, Scientific Reports) należy uznać za trafny. Styl pisania jest klarowny, argumentacja logiczna i spójna, a liczne ryciny zostały przygotowane w sposób przemyślany i bardzo dobrze ilustrują omawiane zjawiska.

Doktorantka wykazuje się bardzo dobrą znajomością literatury światowej zarówno z zakresu oceanografii fizycznej fiordów i zatok lodowcowych, jak i badań nad rolą wód lodowcowych oraz wiatru w kształtowaniu produkcji pierwotnej. Umiejętnie odnosi własne wyniki do badań prowadzonych w regionie Półwyspu Antarktycznego oraz do prac z innych obszarów wysokich szerokości geograficznych, takich jak Spitsbergen czy Grenlandia.

Na podstawie treści publikacji oraz załączonych oświadczeń współautorskich można stwierdzić, że pani Maria Osińska opanowała w bardzo dobrym stopniu zarówno metody obserwacyjne, w tym organizację kampanii pomiarowych i obsługę nowoczesnych sond wieloparametrowych, jak i narzędzia analityczne z zakresu modelowania numerycznego. Zdolność samodzielnego tworzenia, testowania i interpretacji wyników złożonych modeli hydrodynamicznych oraz ich integracji z danymi obserwacyjnymi świadczy o wysokim poziomie kompetencji badawczych Doktorantki.

Zdecydowana większość dyskusji została przeprowadzona w sposób logiczny i spójny, z uwzględnieniem alternatywnych interpretacji oraz ograniczeń zastosowanych metod. Uzyskane wyniki mają znaczenie wykraczające poza badany obszar Zatoki Admiralicji, dostarczając ram interpretacyjnych i ilościowych odniesień możliwych do wykorzystania w badaniach innych antarktycznych zatok lodowcowych.

Należy podkreślić, że znaczna część rozprawy opiera się na modelowaniu numerycznym. Wartość zastosowanych modeli polega jednak nie na ich doskonałym odwzorowaniu rzeczywistości, lecz na zdolności do uchwycenia kluczowych mechanizmów i zależności między procesami. W tym sensie modele wykorzystane w rozprawie należy uznać za użyteczne: są starannie skonstruowane,

zwalidowane dostępnymi danymi i świadomie wykorzystane do formułowania wniosków o jasno określonym zakresie obowiązywania.

3.2. Uwagi krytyczne i pytania

Pytania oraz uwagi krytyczne stanowią integralny element dobrej praktyki naukowej i służą doprecyzowaniu interpretacji wyników, wskazaniu ograniczeń przyjętych założeń oraz zarysowaniu potencjalnych kierunków dalszych badań. Pomimo ogólnie bardzo wysokiej oceny rozprawy, poniżej przedstawiam kilka uwag i pytań, które mogą stanowić punkt wyjścia do merytorycznej dyskusji podczas obrony doktorskiej. Pragnę przy tym wyraźnie podkreślić, że żadna z przedstawionych kwestii nie ma charakteru fundamentalnego, nie podważa głównych wniosków rozprawy ani jej bardzo wysokiej jakości naukowej.

1) W rozprawie Zatoka Admiralicji bywa przedstawiana naprzemiennie jako system reprezentatywny dla antarktycznych zatok lodowcowych oraz jako potencjalny „prekursor” zmian, do którego w przyszłości mogą upodobnić się inne fiordy regionu. Te dwa ujęcia nie są w pełni spójne. Pytanie: Czy Autorka mogłaby jednoznacznie doprecyzować, czy Zatoka Admiralicji traktowana jest jako typowy przykład obecnych warunków panujących w zatokach zachodniego Półwyspu Antarktycznego, czy raczej jako system przejściowy, reprezentatywny dla ich przyszłego stanu w warunkach dalszego ocieplania klimatu?

2) Pomimo porównań Zatoki Admiralicji z innymi zatokami regionu (m.in. Andvord, Barilari, Flandres, Beascochea, Potter Cove), w pracy brakuje wyraźnego odniesienia do istniejących klasyfikacji fiordów wysokiej szerokości geograficznej (polar / subpolar / temperate fjords), zaproponowanych pierwotnie dla Antarktyki (Domack, E. W., & McClennen, C. E. (1996) w: Foundations for Ecological Research West of the Antarctic Peninsula, Antarctic Research Series, 70: 135–154; Gilbert, R. (2000) Geomorphology 32: 295–314). Pytanie: Do której z tych kategorii Autorka zaliczyłaby Zatokę Admiralicji w obecnych warunkach i w jakim stopniu uzyskane wyniki można ekstrapolować na fiordy o innym typie (np. fiordy polarne z trwałą pokrywą lodu morskiego i minimalną dostawą wód roztopowych)?

3) Autorka konsekwentnie unika terminu „fiord”, rezerwując go głównie dla półkuli północnej, jednak w literaturze przedmiotu pojęcia „fiord” i „zatoka lodowcowa” są często stosowane zamiennie także w odniesieniu do Antarktyki. Miejscami prowadzi to do pewnej niejednoznaczności terminologicznej, ponieważ w literaturze termin „zatoka lodowcowa” bywa używany zarówno jako określenie całego systemu fiordowego, jak i w węższym znaczeniu dla zatok przylodowcowych w bezpośrednim sąsiedztwie czoła lodowca. Pytanie: Czy wybór tej terminologii wynika z przyjętej definicji geomorfologicznej (jakiej?), czy ma charakter konwencjonalny?

4) Zakres danych obserwacyjnych i stratyfikacja wód. W rozprawie kilkakrotnie pojawia się stwierdzenie o słabej stratyfikacji wód Zatoki Admiralicji poza cienką warstwą powierzchniową. Należy jednak podkreślić, że dane obserwacyjne obejmują jedynie górne 100 m kolumny wody, podczas gdy maksymalne głębokości zatoki przekraczają 500 m. Przedstawione dane nie pozwalają

więc na jednoznaczne wnioskowanie o strukturze stratyfikacji w głębszych partiach, tym bardziej że badania z sąsiedniej Maxwell Bay wskazują na istotny wpływ głębszych mas wodnych będących modyfikacją Upper Circumpolar Deep Water (np. Llanillo, P. J., Véliz, D., Häussermann, V., et al. (2019). Oceanographic Variability induced by Tides, the Intraseasonal Cycle and Warm Subsurface Water Intrusions in Maxwell Bay, King George Island (West Antarctica). *Scientific Reports*, 9, 1–14.). Pytanie: Jak Autorka ustosunkowuje się do możliwości sezonowej bądź epizodycznej intruzji głębszych wód oceanicznych do Zatoki Admiralicji? Czy byłoby to możliwe np. po okresach silnych wiatrów wschodnich wzmagających według wyników modelowania wymianę wód w zatoce?

5) „Ambient waters” a klasyczne typy mas wodnych. W Publikacji 2 pojawia się termin „ambient waters”, jednak nie jest on jednoznacznie odniesiony do klasycznych typów mas wodnych wyróżnianych w regionie. Rozważenia te mogłyby zostać doprecyzowane, np. poprzez zaznaczenie ich charakterystycznych zakresów temperatury i zasolenia na rycinach (np. Fig. 3), co ułatwiłoby interpretację wyników w kontekście regionalnym. Pytanie: Czy „ambient waters” można utożsamić z konkretnym typem masy wodnej (lub ich mieszaniną)?

6) Żelazo – forma występowania i biodostępność. W dyskusji produktywności główny nacisk położony został na znaczenie żelaza jako składnika limitującego jej natężenie. Brakuje jednak szerszego odniesienia do form występowania żelaza i jego biodostępności, co ma równie istotne znaczenie. Szczególnie istotna jest dwoista rola zawiesiny: jako potencjalnego nośnika żelaza oraz czynnika ograniczającego dostęp światła. W tym kontekście niejasne jest sformułowanie z Publikacji 3: „both cyclonic and anticyclonic eddies can stimulate phytoplankton blooms by concentrating nutrient-rich particles, reducing vertical mixing and increasing light availability in the surface layers” sugerujące, że obecność „nutrient-rich particles” prowadzi do zwiększenia dostępności światła w wodach powierzchniowych. Zwykle obecność zawiesin redukuje dostępność światła. Wydaje się to skrótem myślowym wymagającym doprecyzowania. Pytanie: Jakich form żelaza Autorka się spodziewa w badanym systemie i jak interpretuje stwierdzenie z Publikacji 3 sugerujące, że obecność „nutrient-rich particles” prowadzi do zwiększenia dostępności światła w wodach powierzchniowych?

7) Założenie o roli wód przydennych jako źródła żelaza. W modelu przyjęto, że potencjalnym źródłem żelaza są wody przydenne z najgłębszej części Zatoki Admiralicji (~400 m). Jednocześnie wyniki modelowania wskazują, że masy te mogą być transportowane jedynie do głębokości rzędu 100 m, co ogranicza ich znaczenie dla produkcji pierwotnej zachodzącej głównie w płytszej warstwie. Z drugiej strony, płytsze części zatoki, z silniejszymi prądami i efektem falowania, łatwiej mogą doświadczać resuspensji osadów dennych i mogą w określonych warunkach stanowić bardziej efektywne źródło żelaza. Pytanie: Czy w przyjętym w modelu ujęciu znaczenie najgłębszych wód przydennych dla produkcji pierwotnej, zachodzącej głównie w płytszej warstwie, nie jest przecenione? Czy rozważano możliwość, że płytsze obszary dna, bardziej podatne na resuspensję, mogą stanowić efektywniejsze źródło żelaza?

8) Brak porównania oszacowań dopływu wód roztopowych z innymi metodami. Brakuje zestawienia uzyskanych ilościowych oszacowań dopływu wód ablacyjnych z wynikami badań glaciologicznych lub klimatycznych. Nawet przy ich ograniczeniach takie porównanie pozwoliłoby

ocenić, czy uzyskane wartości są zgodne co do rzędu wielkości. Pytanie: Czy dostępne niezależne oszacowania wskazują, że uzyskane wartości są zgodne co do rzędu wielkości?

9) Batymetria i ADCP. Kilukrotnie podkreślono, że Autorka zebrała najlepsze dotąd dane batymetryczne dla Zatoki Admiralicji, jednak dane te nie są przedstawione ani jednoznacznie opisane. Wspomniana metoda ADCP nie jest bezpośrednio wykorzystana w analizach, a ponadto nie jest optymalnym narzędziem do precyzyjnych pomiarów batymetrycznych. Pytanie: Jakie były źródła danych batymetrycznych wykorzystanych w pracy (własne pomiary / dane archiwalne) i gdzie można znaleźć ich opis lub udostępnienie? Czy Autorka rozważa w przyszłości uzupełnienie kartowania batymetrycznego z użyciem echosondy wielowiązkowej?

Pomniejsze uwagi – głównie redakcyjne

- lekturę utrudnia tendencja do stosowania bardzo licznych skrótów (nazwy geograficzne, masy wodne), nie zawsze objaśnianych w obrębie danego artykułu. W Publikacji 3 część skrótów wyjaśniona jest dopiero w rozdziale metodycznym umieszczonym na końcu artykułu;
- za niefortunny uważam dobór terminu „infused” w tytule i abstrakcie Publikacji 1, zamiast np. „impact” czy „influence”. Termin „infused” nie pojawia się w pozostałych tekstach;
- brak wyraźnie sformułowanych celów naukowych w pierwszym artykule, mimo dużego potencjału interpretacyjnego zaprezentowanych danych;
- zauważalne są pojedyncze niespójności między artykułami, np. w zakresie czasu trwania monitoringu: w Publikacji 2 podano, że monitoring rozpoczął się w 2019 r. i trwał 4 lata, podczas gdy z Publikacji 1 wynika, że rozpoczął się w 2018 r. i objął trzy pełne lata. Warto byłoby te informacje ujednolicić;
- przeładowana i częściowo słabo czytelna Fig. 5 w Publikacji 3;
- w Publikacji 3 termin „uskok” został użyty w odniesieniu do formy dna, która ma raczej charakter rynny (przegłębienia) batymetrycznego. Jest to nieścisłość terminologiczna;
- pojedyncze niezręczności językowe oraz drobne niespójności (np. różne wartości powierzchni Zatoki Admiralicji raz 150 km², a w innym miejscu 177 km²).

4. Uwagi końcowe

Przedstawiona rozprawa doktorska pani magister Marii Osińskiej świadczy o bardzo dobrym opanowaniu metod analizy danych, umiejętności samodzielnego rozwiązywania złożonych problemów badawczych, prowadzenia krytycznej i rzeczowej dyskusji oraz prezentowania wyników badań w postaci wysokiej jakości artykułów naukowych. Autorka wykazuje bardzo dobrą znajomość literatury przedmiotu, umiejętnie zestawia własne wyniki z rezultatami uzyskanymi przez innych badaczy oraz podejmuje refleksję nad ograniczeniami zastosowanych metod. Uzyskane wyniki stanowią istotny i interesujący wkład w aktualnie szeroko dyskutowaną problematykę funkcjonowania antarktycznych zatok lodowcowych w warunkach postępujących zmian klimatycznych.

W mojej ocenie przedstawiona do recenzji rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Stanowi ona istotny, nowy wkład do dotychczasowego stanu wiedzy i jednoznacznie dowodzi, że pani magister Maria Osińska opanowała umiejętność prowadzenia samodzielnych badań naukowych na wysokim poziomie. **Recenzowana praca spełnia zatem wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2024 r. poz. 1571).**

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie pani magister Marii Osińskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie, biorąc pod uwagę bardzo wysoki poziom merytoryczny rozprawy, nowatorski charakter uzyskanych wyników, wyjątkowo bogatą bazę danych oraz wszechstronność i dojrzałość przeprowadzonych analiz, **wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej pracy doktorskiej**, zgodnie z obowiązującymi w jednostce przepisami i przyjętym zwyczajem.



Witold Szczuciński