

dr hab. Dariusz Ficek, prof. UP
Instytut Geografii
Katedra Nauk o Ziemi i Środowisku
Uniwersytet Pomorski w Słupsku

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Katarzyny Dragańskiej-Dei pt. „Charakterystyka cząstek zawieszonych w fiordach Spitsbergenu z wykorzystaniem danych in-situ oraz danych satelitarnych” (Characterisation of Suspended Particular Matter in Spitsbergen fiords combinig in-situ and satellite data) napisana w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk pod kierunkiem dr. hab. Sławomira Sagana prof. IOPAN.

Recenzja rozprawy doktorskiej pani mgr Katarzyny Dragańskiej-Dei przygotowanej w odpowiedzi na pismo DS/366/24 Przewodniczącej Rady Naukowej Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie Pani dr hab. Moniki Kędry prof. IOPAN z dnia 25 września 2024. Sporządzono ją w oparciu o dokumenty przesłane przez sekretariat Instytutu Oceanologii zawierające: wyżej wymienione pismo, wyciąg z regulaminu Rady Naukowej IOPAN oraz wydrukowany egzemplarz rozprawy doktorskiej.

Struktura, problematyka i cele badawcze pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska została przygotowana w Pracowni Teledetekcji Morza, Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie pod kierunkiem dr. hab. Sławomira Sagana, prof. IO PAN. Zasadniczą część pracy stanowi zbiór trzech powiązanych tematycznie artykułów naukowych pt. " *Characterisation of Suspended Particular Matter in Spitsbergen fiords combinig in-situ and satellite data (Charakterystyka cząstek zawieszonych w fiordach Spitsbergenu z wykorzystaniem danych in-situ oraz danych satelitarnych)*". Rozprawa podzielona jest na 5 rozdziałów, które zawierają kolejno: streszczenia w języku angielskim i polskim wraz z bibliografią oraz załączony zbiór trzech artykułów naukowych (dwóch już opublikowanych i jednego złożonego do wydawnictwa). Do każdego artykułu dołączono oświadczenia współautorów o ich wkładzie w tworzenie publikacji oraz informację o źródłach finansowania badań. Całość pracy obejmuje 85 stron. Do pracy dołączono płytę CD-R, na której znajduje się doktorat w formacie PDF.

Moim zdaniem w rozprawie brakuje załącznika z wykazem najważniejszych symboli i skrótów używanych w tej pracy.

W rozprawie brakuje też oświadczenia o wkładzie Doktorantki w tworzenie trzeciego artykułu składającego się na rozprawę doktorską. Do tego artykułu nie załączono też dokumentu

potwierdzającego złożenie tej pracy w wydawnictwie. Na moją prośbę, te informacje zostały uzupełnione.

Badania przeprowadzone i opisane w dysertacji dobrze wpisują się w aktualne trendy badań klimatycznych. Obserwowany globalny wzrost temperatury szczególnie jest widoczny w regionach polarnych przyczyniając się do intensywnej recesji i topnienia lodowców. Procesy te bezpośrednio wpływają na zmiany w wodach zatok lodowcowych wywołane m.in. intensyfikacją wypływu wód roztopowych zawierających znaczne ilości materii zawieszanej, głównie cząstek mineralnych. Substancje zawieszone w wodzie oraz ich skład mineralogiczny mogą być zatem wykorzystane jako dobry i czuły wskaźnik zmian klimatu w lokalnych ekosystemach morskich. Przeprowadzone i zaprezentowane w dysertacji badania dostarczają istotnych informacji na temat zmienności wielkości cząstek, ich składu mineralogicznego oraz dominacji w zawieszaniu cząstek mineralnych pochodzących z topniejących lodowców. Informacje te mogą w przyszłości przyczynić się do poprawy dokładności teledetekcji wód polarnych, oraz poprawy jakości modeli analizujących ekologiczne skutki zwiększonej koncentracji zawiesin. Informacje te są także ważne w kontekście analizy zmian w produkcji pierwotnej akwenów polarnych na skutek dostarczania przez topniejące lodowce składników odżywczych oraz zawiesin limitujących dostęp światła dla organizmów fotosyntetyzujących.

Podstawą rozprawy jest realizacja trzech sformułowanych przez Doktorantkę pracy celów:

„1. Opisanie przestrzennej zmienności cząstek zawieszonych w wodach fiordów Spitsbergenu poprzez scharakteryzowanie składu mineralnego, koncentracji cząstek zawieszonych, proporcji materii organicznej do mineralnej oraz rozkładu wielkości cząstek w bezpośrednim sąsiedztwie źródła zawiesiny jakim są poszczególne lodowce zarówno kończące się na morzu jak i na lądzie.

2. Określenie wpływu wód roztopowych z lodowców na ilość materii organicznej produkowanej w sezonie letnim i ocena tego wpływu na obserwowane zmiany przestrzenne procesu produkcji pierwotnej w fiordach Spitsbergenu zarówno na powierzchni jak i w słupie wody.

3. Opracowanie algorytmu zdalnego monitoringu koncentracji cząstek zawieszonych w fiordach Spitsbergenu oraz modelowania średniej koncentracji cząstek dla każdego dnia sezonu letniego w celu oceny procesu zaciemniania wód w długoterminowej skali czasowej.”

Cele pracy, jakie Doktorantka sobie postawiła są jasno sformułowane i obejmują zagadnienia oraz problemy bardzo aktualne i jeszcze nie do końca rozwiązane, a ich realizacja wymagała dużego nakładu pracy i specjalistycznej wiedzy. Warte podkreślenia jest to, że Doktorantka nie tylko gromadzi i opracowuje dane, ale także planuje eksperymenty naukowe i uczestniczy w ekspedycjach polarnych. Znaczna część danych eksperymentalnych zaprezentowanych w dysertacji jest uzyskana dzięki pomiarom, w których Doktorantka uczestniczyła osobiście. Jak wiadomo, badania morskie stanowią duże wyzwanie dla ekip badawczych, natomiast badania morskie w rejonach polarnych zawierają już pierwiastek ekstremalny. Doktorantka zmierzyła się z tym wyzwaniem z sukcesem uczestnicząc w latach 2015-2024 wielokrotnie w wyprawach badawczych. Mnogość problemów, które należy rozwiązać aby zrealizować takie badania sprawia, że najczęściej dostępnych jest niewiele wyników pomiaru in situ. Dlatego każde z tych danych ma dużą wartość. Realizacja celów pracy, które można

nazwać ambitnymi, wymaga nie tylko biegłości w posługiwaniu się narzędziami matematycznymi, które pozwalają na skuteczną analizę danych i modelowanie zjawisk, ale także dogłębnej znajomości technik informatycznych.

Artykuł pierwszy zatytułowany „*Characterization of Suspended Particles at Different Glacial Bays at Spitsbergen*”, którego Doktorantka jest jedynym autorem, został opublikowany w czasopiśmie *Oceanologia* w 2024 roku. Wykaz Ministerstwa Edukacji i Nauki z dnia 5 stycznia 2024r przypisuje temu czasopismu 100 punktów. Artykuł zgodnie z bazą SCOPUS, na dzień przygotowania niniejszej recenzji, miał 1 cytowanie.

Doktorantka w artykule prezentuje wyniki swoich badań cząstek zawieszonych występujących w wodach fiordów zachodniego wybrzeża Spitsbergenu w latach 2016-2018. Analizie poddano zatoki lodowcowe Hornsundu oraz Kongsfjordu. W próbkach wody pobranych z tych lokalizacji określono stężenie masowe zawiesiny (SPM), z wyróżnieniem frakcji organicznej (POM) oraz nieorganicznej (PIM). Skład mineralogiczny zawiesiny określono za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego (PW 3040/60, PANalytical), a rozkład wielkości cząstek (PSD) analizowano przy pomocy laserowego analizatora wielkości cząstek (LISST 100X, SEQUOIA SCIENTIFIC, INC).

Badania Doktorantki znacząco poszerzyły naszą wiedzę na temat zmienności przestrzennej rozkładu wielkości cząstek oraz stężenia cząstek zawieszonych w regionie Spitzbergenu. Umożliwiły one również lepsze zrozumienie wpływu lodowców na skład mineralny zawieszonych w wodach fiordów cząstek. Doktorantka ustaliła kilka ważnych prawidłowości charakteryzujących wodę w fiordach. W miesiącach letnich woda spływająca z lodowca, zawierająca duże koncentracje zawiesiny, tworzy w zatokach rozległe mętne strefy o drastycznie innych właściwościach optycznych niż te obserwowane w otaczających Spitzbergen morzach. Zarówno stężenia jak skład mineralogiczny zawiesiny w wodzie wykazuje wysoki stopień zmienności przestrzennej. W pobliżu źródła (topniejącego lodowca), stężenia SPM osiągają bardzo wysokie wartości, z dominującą zawartością materii nieorganicznej PIM, ze stężeniami w zakresie od 82,5% do 97,9% SPM. Zauważalny jest wyraźny spadek stężenia SPM w warstwie powierzchniowej wody wraz ze wzrostem odległości od miejsca, w którym woda z lodowca wpływają do zatoki. W obu badanych fiordach stwierdzono, że woda z topniejącego lodowca znacznie zwiększa stężenie krzemianów, węglanów i innych minerałów zawartych w cząstkach zawiesiny w wodzie powierzchniowej. Rozkład wielkości cząstek zawiesiny oraz jej skład mineralogiczny różnił się w zależności od geologii podłoża, jego wieku oraz tempa erozji.

Uwagi do artykułu pierwszego.

Doktorantka jest jedynym autorem tego artykułu tzn. opracowała jego koncepcję, przeprowadziła analizę danych i interpretację wyników, a także je zwizualizowała oraz przygotowała do druku. Należy podkreślić, że Doktorantka samodzielnie zaprojektowała koncepcję badań zawartych w tym artykule, oraz osobiście zrealizowała wszystkie pomiary terenowe uczestnicząc w ekspedycjach arktycznych w latach 2016-2018. Pomiary stężeń SPM, PIM i POM są prowadzone w wodach badanych fiordów od wielu lat, natomiast skorelowane z nimi rozkłady wielkości cząstek oraz ich składu mineralogicznego cząstek nadają tym danym nowy wymiar. Do tego artykułu nie mam uwag krytycznych, Doktorantka zgromadziła przez siebie materiał eksperymentalny interesująco opracowała, a artykuł starannie zredagowała i opublikowała.

Do tej części pracy mam dwa pytania:

- Doktorantka pisze, że powierzchniową koncentrację PSD przyjęto jako średnią pomiarów z warstwy 1-5m. Interesuje mnie jakie były przesłanki, aby za dolną granicę warstwy powierzchniowej przyjąć wartość 5m. Przezroczystość wody w tych wodach jest niewielka (średnia głębokość Secchiego około 0,6m), a woda we fiordach wykazuje silną pionową stratyfikację zasolenia, temperatury i chlorofilu.
- Kolejne pytanie związane jest z przyrządem, który wykorzystywany był do pomiarów wielkości zawiesin LISST-100X. Urządzenie to ma pewne ograniczenia, nie mierzy wszystkich cząstek zawartych w zawieszynie, uwzględnia tylko cząstki w zakresie wielkości od 1.25 do 250 μm . Czy były czynione próby pomiaru/szacowania koncentracji cząstek mniejszych od 1.25 μm lub większych od 250 μm . Jak Pani sądzi czy dużo cząstek zawieszyny nie zostało zmierzonych?

Artykuł drugi zatytułowany „*Productivity of Spitsbergen Fjords Ecosystems in Summer Spatial Changes of in Situ Primary Production in Kongsfjorden and Hornsund in the Period 1994-2019*” został przygotowany w zespole czteroosobowym złożonym z pracowników Instytutu Oceanologii PAN, Doktorantki, Katarzyny Dragańskiej-Dei (pierwszy autor), Joanny Stoń-Egiert, Józefa Wiktora oraz Mirosławy Ostrowskiej. Artykuł został opublikowany w *Ecology and Evolution* w roku 2024. Czasopismo to w Wykazie Ministerstwa Edukacji i Nauki z 5 stycznia 2024r. ma 100 punktów. Artykuł ten został zaakceptowany do druku niedawno tj. 5 czerwca bieżącego roku co skutkuje tym nie ma jeszcze zarejestrowanych cytowań w bazie SCOPUS.

Artykuł ten porusza bardzo aktualną kwestię produktywności wód arktycznych. Doktorantka, korzystając z obszernego banku danych zgromadzonych w latach 1994-2019, analizowała wpływ wód roztopowych z lodowców na produktywność pierwotną w dwóch fiordach Spitsbergenu: Kongsfjorden i Hornsund. Badania produkcji pierwotnej oraz parametrów hydrologicznych przeprowadzono na stacjach zlokalizowanych w trzech różnych regionach: w pobliżu lodowca, w części wewnętrznej oraz w strefie zewnętrznej tych fiordów. Unikalny zbiór danych *in situ* obejmujący 348 pomiarów produkcji pierwotnej PP zmierzonej na różnych głębokościach z okresu 25 lat, umożliwił zbadanie zmienności letniej produkcji pierwotnej oraz jej związek z parametrami środowiskowymi.

Analiza zgromadzonego materiału eksperymentalnego ujawniła istotne prawidłowości. Produkcja pierwotna na powierzchni $P_e(0)$ w obu fiordach pokazała podobną zależność, z wyraźnym spadkiem wartości od lodowca do stref zewnętrznych fiordów. W Kongsfjorden średnia wartość $P_e(0)$ zmniejszyła się z $2,18 \pm 2,75 \text{ mgC m}^3 \text{ h}^{-1}$ w pobliżu lodowca do $1,53 \pm 1,28 \text{ mgC m}^3 \text{ h}^{-1}$ w części zewnętrznej. W Hornsundzie odnotowano spadek z $6 \pm 5,39$ do $1,77 \pm 0,51 \text{ mgC m}^3 \text{ h}^{-1}$. Jest to efektem większej dostępności składników odżywczych w rejonie lodowca, wynikającej z erozji podłoża skalnego i uwalniania znacznych ilości różnorodnych zawiesin mineralnych. W przeciwieństwie do tego, wartości całkowitej produkcji pierwotnej w kolumnie wody (P_i) pokazują inną tendencję. W obszarach przylodowcowych obserwujemy najniższą produktywność, podczas gdy najwyższe średnie wartości P_i w Kongsfjorden stwierdzono w strefie zewnętrznej ($769,12 \pm 540,53 \text{ mgC m}^2 \text{ dzień}^{-1}$), a w Hornsundzie w strefie wewnętrznej ($1203,02 \pm 604,34 \text{ mgC m}^2 \text{ dzień}^{-1}$). Niskie wartości P_i w strefie przylodowcowej wynikają z wysokich stężeń zawiesin mineralnych, które powodują mętność wody i ograniczają dostęp światła do większych głębokości. W miarę oddalania się od miejsca wpływu wody z lodowca do zatoki w kierunku ujścia fiordu, maleje koncentracja zawieszonych cząstek (w tym mineralnych) oraz

składników odżywczych niezbędnych w procesie fotosyntetycznej produkcji pierwotnej, zwiększa się natomiast przejrzystość wody i dostępność światła na większych głębokościach. Współdziałanie tych dwóch czynników przyczynia się do wyższych wartości Pi w strefie wewnętrznej bądź w strefie wewnętrznej fiordu.

Badania przedstawione w pracy ukazują złożone interakcje pomiędzy różnymi czynnikami środowiskowymi, zwłaszcza stężeniem cząstek zawieszonych i produkcją pierwotną w arktycznych ekosystemach morskich. Artykuł przyczynia się do lepszego naszego zrozumienia dynamiki produkcji pierwotnej w fiordach Spitsbergenu, wskazując na istotny wpływ takich elementów jak dostępność światła, stężenie zawiesin, składników odżywczych oraz właściwości mas wodnych na morską produktywność.

Uwagi do artykułu drugiego. Autorami tej pracy jest czterech naukowców. Prace wieloautorskie, szczególnie w przypadku doktoratów, zawsze rodzą pytanie o wkład doktoranta w ich powstanie. Należy pamiętać, że jednoosobowe prowadzenie badań eksperymentalnych na morzu, zwłaszcza w Arktyce, jest niemożliwe. Badania są zawsze realizowane zespołowo, a współpraca przy opracowywaniu danych i publikacji tekstu jest czymś naturalnym. Warto jednak zaznaczyć, że wkład doktorantki w tę publikację jest dominujący. Potwierdza to jej umiejscowienie na pierwszym miejscu w gronie autorów oraz wynika z załączonych do dysertacji oświadczeń. Jej działania w zespole obejmowały szeroki zakres prac: opracowanie koncepcji artykułu, zebranie bazy danych, stworzenie metodologii, analizę i interpretację wyników, ich wizualizację oraz walidację, a także przygotowanie pierwszej i kolejnych wersji artykułu po uwzględnieniu uwag recenzentów. Należy również podkreślić, że w 2019 roku doktorantka osobiście brała udział w pomiarach produkcji pierwotnej na szelfie Spitsbergenu oraz w obu fiordach, których dane, wraz z informacjami historycznymi, zostały wykorzystane w tej publikacji.

Ten artykuł został także bardzo starannie zredagowany, mam do niego jedną uwagę krytyczną oraz jedno pytanie.

- *Niezbyt precyzyjnie został sformułowany jeden z wniosków zawartych w tej pracy. Doktorantka pisze: „Wyniki pracy podkreślają złożone interakcje między czynnikami środowiskowymi – w szczególności koncentracją mineralnych cząstek zawieszonych a produkcją pierwotną w arktycznych ekosystemach morskich”. Czy takie relacje pomiędzy koncentracją mineralnych cząstek zawieszonych a produkcją pierwotną rzeczywiście istnieją? Czy możemy je wywnioskować z materiału zaprezentowanego w pracy? Moim zdaniem nie. W artykule przedstawiono korelację pomiędzy koncentracją mineralnych cząstek zawieszonych a PP. Wyższe stężenia zawiesin limitują dostęp do światła, czynnika z którym PP rzeczywiście wyraźnie koreluje. W innym miejscu pracy Doktorantka odnosi się do tej zależności.*
- *Zaintrygowały mnie profile pionowe koncentracji chlorofilu zaprezentowane na rys. 6. W strefie Glacier oraz Inner koncentracja chlorofilu poniżej głębokości 30m nie ma rozrzutu wartości. Czy na tych głębokościach mierzony był tylko jeden profil chlorofilu?*

Artykuł trzeci, zatytułowany „*Quantifying darkening of Svalbard fjord using Landsat/Sentinel-2 images and in-situ measurements*” został napisany przez Doktorantkę we współautorstwie z Jackiem Urbańskim. Artykuł ten został 21.08.2024 wysłany do redakcji czasopisma *Polish Polar Research*

i aktualnie (na dzień 15.10.2024r) jest w recenzji. W Wykazie Ministerstwa Edukacji i Nauki z dnia 5 stycznia 2024r przypisano temu czasopismu 70 punktów.

W artykule przeanalizowano zjawisko ciemnienie wód zatok lodowcowych w kontekście zmian klimatycznych wpływających na ekosystem Arktyki. Wzrost globalnej temperatury, obserwowany w ostatnich latach, prowadzi do topnienia i recesji lodowców. Wzmożony dopływ do fiordu bogatej w substancje zawieszane wody roztopowej przyczynia się do zmniejszania przejrzystości wód, co skutkuje ich ciemnieniem. W pierwszej części pracy do analiz wykorzystano dane pomiarowe z 2019 roku, zmierzone *in situ* w dwóch fiordach (Isfjord i Kongsfjord), obejmujące stężenie masowe zawiesiny (SPM), mętność wody oraz głębokość Secchiego. Zebrane dane umożliwiły opracowanie dwóch autorskich formuł wiążących stężenie SPM oraz głębokość Secchiego z mętnością wody, z współczynnikiem determinacji wynoszącym odpowiednio 0,86 oraz 0,9.

Dalsza część pracy koncentruje się na analizie zmian przestrzenno-czasowych w Kongsfjordzie w latach 1985-2000 oraz 2015-2020. W tym celu wykorzystano wieloletnie dane z satelitarne z Landsat i Sentinel-2 oraz dane meteorologiczne. Obszar fiordu na obrazach satelitarnych wymagał maskowania terenów pokrytych różnymi formami gór lodowych wraz z zaciemnieniem spowodowanym chmurami. Doktorantka zastosowała techniki klasyfikacji oparte na uczeniu maszynowym, aby rozwiązać ten problem. Przetworzone dane posłużyły do określenia empirycznej zależności pomiędzy zdalną refleksyjnością w trzech kanałach (niebieskim, czerwonym i podczerwonym) a zmierzonymi *in situ* wartościami stężenia cząsteczek zawieszonych. Porównanie nowo opracowanej formuły z zależnościami innych autorów wykazało jej większą użyteczność dla wód Kongsfjordru (niższe błędy). Nowa zależność została wykorzystana do analizy zmian stężeń SPM w Kongsfjordzie w okresach 1985-2000 i 2015-2020. Otrzymane rezultaty pokazały znaczny wzrost stężenia SPM w drugim okresie, co wskazuje na postępujące ciemnienie wód fiordu.

Kolejnym krokiem była analiza średnich wartości stężeń SPM w strefie 6 km od czoła lodowców, przy użyciu danych satelitarnych oraz meteorologicznych. Opracowano nową zależność pomiędzy średnimi wartościami stężeń SPM a 6-dniową sumą wszystkich dodatnich średnich temperatur dobowych (ang. 'Positive Degree Days' - PDD). Umożliwiło to oszacowanie średnich wartości stężeń SPM dla każdego dnia lipca i sierpnia na przestrzeni 35 lat. Ta analiza również ujawniła proces postępującego ciemnienia wód. Średnie stężenie SPM w strefie obejmującej ponad połowę fiordu wzrosło o 36% w latach 2015-2020 w porównaniu do lat 1985-2000. Wzrost stężenia SPM w wodach fiordu potwierdza zachodzące zmiany klimatyczne i ma istotne implikacje ekologiczne, prowadząc do spadku przezroczystości wód, co wpływa na produkcję pierwotną oraz interakcje międzygatunkowe w fiordzie. Przedstawione w tej pracy informacje znacząco poprawiają stan wiedzy o wodach badanych fiordów a opracowane zależności mogą zostać wykorzystane do dostarczenia kluczowych danych dla przyszłych modeli ekologicznych i aplikacji teledetekcyjnych.

Uwagi do artykułu trzeciego.

Wkład Doktorantki w powstanie tej pracy jest dominujący, co podkreśla jej pierwsze miejsce jako głównego autora. Doktorantka brała czynny udział w projektowaniu i realizacji badań, jak również w analizie i interpretacji danych. Jako pierwszy autor, była też obarczona główną odpowiedzialnością za pisanie i redagowanie manuskryptu oraz koordynowanie pracy nad publikacją. Artykuł ten, pomimo że zawiera bardzo interesujący materiał naukowy, oceniam najniżej, ponieważ zarówno opis jak i prezentacja wyników zawiera elementy niedopracowane. Praca ta nie przeszła jeszcze procesu

recenzji, sądzę, że jej finalna wersja będzie pozbawiona tych nieścisłości i stanie się wartościową publikacją, która przyczyni się do lepszego zrozumienia procesów zachodzących w fiordach w kontekście zmieniającego się klimatu.

Poniżej wyszczególniono fragmenty pracy, które budzą zastrzeżenia recenzenta. Należy jednak podkreślić, że żadna z wymienionych uwag nie odnosi się merytorycznie do zasadniczej części pracy.

W pracy brak afiliacji drugiego autora

W pracy zaproponowano nowy model umożliwiający detekcję stężeń SPM na podstawie zdalnej reflektancji. Rezultaty zostały zaprezentowane na rysunku 3. Na tym rysunku zaprezentowano także dane uzyskane z zależności opracowanych przez innych autorów (Schild et al. 2017, Chu et al. 2012, Hudson et al. 2014). Uważam, że w pracy w której proponuje się nowy model powinny znaleźć się porównania rezultatów uzyskanych z tego nowego modelu z rezultatami uzyskanymi z modeli już istniejących. Warto by zaprezentować wyznaczone dla tych wszystkich formuł błędy statystyczne. Tym bardziej, że autorzy sygnalizują, że dla niskich koncentracji SPM modele Chu et al. (2012), Hudson et al. (2014) dają lepsze rezultaty i do ostatecznej wersji modelu dołączają model Chu et al. 2012 dla danych z tego niskiego zakresu. W pracy powinna pojawić się również informacja jak bardzo włączenie do nowo opracowanej zależności tego drugiego modelu poprawia algorytm. Widziałbym w pracy porównanie wartości błędów estymacji dla wszystkich testowanych modeli. Skoro zdecydowano się na podział SPM na zakresy wartości od 0-10 mg^l⁻¹ i powyżej 10mg^l⁻¹ to dodatkowo należałoby zaprezentować osobno błędy dla tych dwóch zakresów.

Str. 13 „(...) Określenie wpływu wód roztopowych z lodowców na ilość materii organicznej **produkowanej** w sezonie letnim (...)”. Niezbyt fortunate użycie słowa produkowany. Czy materia organiczna jest produkowana w fitoplanktonie?

Str. 17 „(...) Stosując metody regresji określono zależność pomiędzy średnimi wartościami SPM a wartością 6-dniową sumą wszystkich **dodatnich** średnich temperatur dobowych **powyżej zera stopni Celsjusza** (ang. ‘Positive Degree days’ - PDD). (...)” – temperatury dodatnie to są temperatury powyżej zera stopni Celsjusza, nie ma sensu używać w definicji PDD dwóch określeń oznaczających to samo.

Str. 17 „(...) Zastosowanie dwóch kanałów w zakresie światła widzialnego było istotne ze względu na **zróżnicowaną kolorystykę cząstek zawieszonych** wynikającą z odmiennego składu mineralogicznego w poszczególnych zatokach lodowcowych, co wykazano w pierwszym artykule (...)”. W pierwszym artykule nie była analizowana zróżnicowana kolorystyka cząstek zawieszonych, tylko skład mineralogiczny i rozmiar zawiesin. Podobna sentencja znajduje się na str. 76 “(...) Within a fjord, or even near the front of a single glacier, suspensions can vary widely in color, from almost white to dark red and brown what reflect different mineral composition and different particular size of this suspended matter (Dragańska- Deja, 2024) (...)”. W cytowanej pracy nie był analizowany kolor wody w powiązaniu ze składem minerałów zawartych zawieszynie, czy też z wielkością jej cząstek. Należy zacytować inną pracę.

Str. 18 „(...) Integracja danych satelitarnych, pomiarów in situ oraz zaawansowanych technik analitycznych pozwala na **precyzyjne monitorowanie** tych procesów i ich konsekwencji ekologicznych (...)”. Zależności zaprezentowane w pracy nie pozwalają na precyzyjne monitorowanie, a jedynie na przybliżone.

Str. 63 wers 1 od góry. Zamiast „Chapter IV” powinno być „Chapter V”.

Str. 68 W pracy brak jest wyjaśnienia co oznaczają indeksy $TUR_{mean 0.5}$ oraz $TUR_{mean 1}$ w równaniach (1) i (2).

Str. 69 „(...) Upon visual inspection, it was observed that the procedure operated satisfactorily in 90% of instances, exhibiting reasonable performance in addressing spatial reflectance variability, while the remaining 10% of images were deemed unsatisfactory and thus discarded. (...)” Nie wiem jak interpretować to, że 10% obrazów odrzucono? W pracy należałoby napisać jakie były kryteria odrzucenia?

Str. 70 “(...) Existing formulas based on the Red and NIR channels were also tested; however, due to the varying colors of the suspended matter, their application did not yield satisfactory results. (...)” Sądzę, że warto zaprezentować rachunek błędów dla tych analizowanych algorytmów, żeby pokazać o ile lepsze są algorytmy opracowane przez autorów tej pracy.

Str. 72 wers 4 od dołu. Zamiast „figure 2” powinno być „figure 3”

Str. 73 Na rysunku 3 w legendzie jest dwa razy wymieniony algorytm Schield i in (2017), ten powtórzony algorytm na wykresie oznaczony jest różnymi kolorami. To z pewnością jest błąd. Na tym samym wykresie zakres zmienności SPM jest od 0.56 do 500.33[mg/l] może lepiej byłoby przedstawić tę zależność w skali logarytmicznej. W podpisie pod rysunkiem jest błędnie napisana jednostka, powinno być $mg\ l^{-1}$, lub mg/l tak jak jest napisane w innych częściach publikacji.

Str. 73 Pojawia się akronim PDD6, które nie został nigdzie w pracy zdefiniowany.

Str. 74 Na rysunku 5 na osi pionowej jest oznaczenie SSC natomiast w podpisie SPM, powinno być SPM

Str. 75 Na rysunku 6 na osi poziomej jest oznaczenie SSC natomiast w podpisie SPM, powinno być SPM

Str. 77 Pojawia się akronim SCC, który nie został nigdzie w pracy zdefiniowany.

Str. 78 wersy 8, 16, 23 w poszczególnych akapitach brak określenia, do którego rysunku odnosi się zawarty w akapicie opis.

Spis literatury został przygotowany starannie, jednak Doktorantka nie ustrzegła się kilku drobnych pomyłek:

W literaturze brak: Zajczkowski and Legeżyńska, 2001). Jest Zajczkowski and Legeżyńska, 2001).

W literaturze brak: Zajczkowski and Szczuciński, W., Bojanowski, 2004 Jest Zajczkowski and Szczuciński, 2004

Praca ta skłoniła mnie do zadania dwóch dodatkowych pytań:

- Na rysunku 5 (Str. 74) zauważalny jest bardzo szybki wzrost SPM w analizowanym okresie. Jak można to wytłumaczyć? Czy topnienie lodowców aż tak bardzo przyspiesza?

- Ciemnienie wód fiordu jest wynikiem zwiększonego tempa topnienia lodowców, które z roku na rok stają się coraz mniejsze? W miarę upływu czasu powinno dojść do sytuacji, w której ubytek lodowców spowoduje zmniejszenie ilości zawiesiny transportowanej do zatok. Czy możemy przewidzieć, kiedy taka sytuacja może nastąpić, zakładając, że tempo topnienia lodowców pozostanie na obecnym poziomie? A może już teraz można zaobserwować zatoki, w których woda staje się bardziej przejrzysta z powodu zaniku lodowca?

Ocena pracy

Powyższe uwagi nie umniejszają wysokich walorów poznawczych przedstawionej mi do recenzji rozprawy. Cykl trzech powiązanych tematycznie artykułów naukowych - dwóch opublikowanych w renomowanych czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym oraz jednego wysłanego do wydawnictwa - oceniam pozytywnie. Doktorantka wykazała się przemyślaną strategią planowania i prowadzenia procesu badawczego, skuteczną współpracą z zespołem wysokiej klasy specjalistów oraz umiejętnością przeprowadzenia eksperymentów naukowych na morzu w ekstremalnych warunkach Arktyki. Należy podkreślić, że chociaż stanowiące rozprawę doktorską publikacje są współautorskie, to wkład Doktorantki w ich powstanie jest dominujący. Temat poruszany w dysertacji jest istotny i nowatorski, a sformułowane cele są ambitne. W wyniku przeprowadzonych badań, pani mgr Katarzyna Dragańska-Deja zrealizowała wszystkie postawione cele badawcze: (1) scharakteryzowała przestrzenną zmienność cząstek zawieszonych w badanych fiordach, określając ich skład mineralny, koncentrację, proporcje składnika organicznego do mineralnego oraz rozkład wielkości cząstek, (2) zbadała wpływ wód roztopowych z lodowców na wielkość i zróżnicowanie przestrzenne produkcji pierwotnej w badanych fiordach; (3) opracowała algorytm zdalnej detekcji koncentracji cząstek zawieszonych w wodach fiordów Spitsbergenu oraz model oceny procesu zaciemnienia wód w sezonie letnim w długoterminowej skali czasowej.

Podsumowując w mojej ocenie, przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr Katarzyny Dragańskiej-Dei spełnia wszystkie wymagania stawiane tego typu pracom. Stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wskazuje na bardzo dobre opanowanie metod badawczych, a także umiejętność rozwiązywania problemów i prowadzenia samodzielnej pracy naukowej. **Recenzowana praca spełnia zatem wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w ustawie z dnia 14 marca 2023r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki(Dz. U. Nr 65), ustawy z dnia 18 marca 2011r. o zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. nr 84 poz. 455) wraz z późniejszymi zmianami oraz w oparciu o rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora(Dz. U. z dnia 30 stycznia 2018r. poz. 261). Tym samym wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie o dopuszczenie pani magister Katarzyny Dragańskiej-Dei do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**