

Łódź, 29.06.2026 r.

Prof. Magdalena Błażewicz
Katedra Zoologii Bezkręgowców i Hydrobiologii
Banacha 12/16
e-mail: magdalena.blazewicz@biol.uni.lodz.pl
tel: +48 42 635 429

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr Kajetana Deji pt.: *Benthic megafauna, the record of its activity (lebensspuren), and pelago-benthic processes in Svalbard fjord ecosystems.*]

Zgodnie z art. 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.), recenzja rozprawy doktorskiej obejmuje ocenę, czy dysertacja Pana mgr. Kajetana Dei, przygotowana pod opieką promotora prof. dr. hab. Jana Marcina Węśławskiego, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a także czy Kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W niniejszej recenzji skoncentrowałam się w szczególności na ocenie: wyboru obszaru badawczego, przedmiotu badań oraz tematu pracy; celów i metod badawczych, a także struktury rozprawy, pozwalających ocenić umiejętność samodzielnego przygotowania dzieła naukowego; wykazania przez Kandydata ogólnej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie nauki biologicznej; oryginalności w rozwiązaniu problemu badawczego; formalnej strony pracy, obejmującej jej strukturę, styl, poprawność cytowania literatury oraz jakość przygotowania ilustracji i dokumentacji tabelarycznej.

Ekosystemy arktyczne należą do najbardziej dynamicznie przekształcających się środowisk na Ziemi, a obserwowane w ostatnich dekadach tempo zmian klimatycznych w wysokich szerokościach geograficznych znacząco przewyższa średnią globalną. Szczególnie wyraźnie procesy te manifestują się w fiordach Svalbardu, stanowiących unikatowe systemy przejściowe pomiędzy środowiskiem glacialnym, przybrzeżnym i otwartym oceanem. Cofanie się lodowców, intensyfikacja dopływu wód roztopowych, wzrost sedymentacji mineralnej oraz postępująca atlantyfikacja prowadzą do istotnych zmian w reżimie hydrologicznym, produktywności biologicznej oraz tempie transferu materii organicznej pomiędzy pelagiałem a bentosem. Procesy te mają fundamentalne znaczenie

dla struktury i funkcjonowania zespołów bentosowych, które pełnią kluczową rolę w obiegu materii i energii w ekosystemach morskich. W tym kontekście wybór problematyki badawczej podjętej przez mgr Kajetana Deję oceniam jako wyjątkowo trafny i istotny poznawczo. Szczególną wartość rozprawy stanowi analiza megafauny bentosowej nie tylko w ujęciu taksonomicznym, lecz również funkcjonalnym, poprzez włączenie do badań lebensspuren, czyli śladów aktywności organizmów zachowanych na powierzchni osadu. Podejście to znacząco poszerza klasyczne ramy badań zespołów dna morskiego, umożliwiając ocenę nie tylko składu zespołów organizmów, ale również intensywności ich aktywności biologicznej, interakcji z osadem oraz rzeczywistego udziału w procesach bioturbacji, resuspensji i transformacji materii organicznej. Analiza lebensspuren dostarcza zatem cennego, często niedostępnego przy zastosowaniu standardowych metod próbkowania, wglądu w funkcjonalne aspekty działania ekosystemu dna morskiego.

Podstawę rozprawy doktorskiej mgr Kajetana Dei stanowi pięć oryginalnych publikacji naukowych opublikowanych w latach 2016–2025 w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, specjalizujących się w biologii morza, ekologii polarnej oraz oceanografii: Polish Polar Research (dwie publikacje) oraz Polar Biology (dwie publikacje) i Marine Ecology Progress Series. Dobór czasopism oceniam jako trafny i adekwatny do tematyki podjętych badań.

Z załączonych oświadczeń współautorów wynika, że wkład Doktoranta we wszystkich pracach był wiodący i obejmował kluczowe etapy procesu badawczego, w tym współtworzenie koncepcji badań, gromadzenie i analizę materiału, interpretację wyników oraz przygotowanie manuskryptów. Szczególnie istotny wydaje się udział Doktoranta w opracowaniu oraz rozwijaniu metod opartych na analizie materiału wideo *in situ*, które stanowią metodologiczny rdzeń całej rozprawy.

Na wysoką ocenę zasługuje materiał badawczy zgromadzony i wykorzystany w rozprawie. Doktorant oparł swoje analizy na obszernym i zróżnicowanym materiale pochodzącym z wieloletnich badań prowadzonych w latach 2014–2024 w arktycznych fiordach Svalbardu, obejmujących m.in. Hornsund, Isfjorden, Kongsfjorden i Van Mijenfjorden, a także dodatkowe stanowiska szelfowe i glacialne. Wykorzystany materiał obejmował zarówno bezpośrednie obserwacje megafauny bentosowej oraz lebensspuren, uzyskane z wykorzystaniem systemów kamer holowanych, drop camera, platform wideo oraz dokumentacji fotograficznej *in situ*, jak również próbki biologiczne pobierane za pomocą trawli pelagicznych (Tucker trawl) oraz dane środowiskowe obejmujące parametry hydrologiczne, sedymentacyjne i oceanograficzne (m.in. głębokość, zmętnienie przydenne, typ stacji oraz właściwości mas wodnych). Na szczególne podkreślenie zasługuje interdyscyplinarny charakter zastosowanej metodyki, łączącej analizę materiału obrazowego, klasyczne metody ekologii morza oraz narzędzia statystyki wielowymiarowej. Tak szeroki zakres przestrzenny, czasowy i metodologiczny należy uznać za istotny atut rozprawy, stanowiący solidną podstawę do prowadzenia analiz ekologicznych w skali całego systemu fiordowego.

PUBLIKACJA 1. Deja, K., Węśławski, J.M., Borszcz, T., Włodarska-Kowalczyk, M., Kukliński, P., Bałazy, P., Kwiatkowska, P., 2016. Recent distribution of Echinodermata species in Spitsbergen coastal waters. Pol Polar Res 37, 511–526. <https://doi.org/10.1515/popore-2016-0027> poświęcona jest

analizie współczesnego rozmieszczenia szkarłupni (Echinodermata) w wodach przybrzeżnych Spitsbergenu na podstawie materiału zebranego w latach 1996–2014. Autorzy wykorzystali obszerny zbiór danych pochodzący z różnych ekspedycji badawczych, obejmujący próbki z fiordów i obszarów przybrzeżnych archipelagu Svalbard. Głównym celem pracy była charakterystyka składu gatunkowego badanej fauny, ocena wzorców jej rozmieszczenia w gradiencie głębokości i czynników środowiskowych oraz próba określenia, czy obserwowane zmiany mogą odzwierciedlać wpływ postępujących zmian klimatycznych. Mocną stroną pracy jest bez wątpienia bardzo bogaty materiał badawczy. Autorzy oparli analizę na obszernym zbiorze danych, obejmującym setki prób pobranych z różnych lokalizacji oraz z wykorzystaniem różnorodnych technik próbkowania. Przeanalizowany materiał, liczący blisko 20 000 osobników reprezentujących 32 gatunki szkarłupni.

W części Materials and Methods autorzy wskazują, że każda próba została opisana zestawem parametrów środowiskowych obejmujących m.in. głębokość, datę poboru, temperaturę, zasolenie oraz typ podłoża. Nie jest jednak jasne, które z tych zmiennych zostały ostatecznie uwzględnione i włączone do analiz. Poza ogólnym odniesieniem do głębokości (Fig. 4) oraz krótką wzmianką o sprawdzeniu wpływu temperatury i innych czynników środowiskowych, brakuje zarówno opisu przeprowadzonych analiz statystycznych, jak i prezentacji ich wyników. W szczególności nie przedstawiono oceny wpływu temperatury, zasolenia, typu podłoża czy czasu poboru prób na rozmieszczenie badanych gatunków.

Moje wątpliwości budzi również sposób przedstawienia materiału badawczego. Przede wszystkim niejasna pozostaje rzeczywista liczba prób uwzględnionych w analizie. W Tabeli 1 podano 467 prób, natomiast w części Results wspomniano o ponad 1000 próbach dennych, z których ponad 460 zawierało Echinodermata. Wymaga to doprecyzowania, ponieważ nie jest jasne, czy analizie poddano wszystkie pobrane próby, czy jedynie ich podzbiór, oraz czy próby bez szkarłupni zostały uwzględnione, czy wyłączone z dalszych analiz. Dodatkowo sposób organizacji danych utrudnia interpretację wyników. W Tabeli 1 próby sklasyfikowano według rodzaju sprzętu oraz zakresów głębokości, podczas gdy analizy wyników prowadzone są głównie w odniesieniu do poszczególnych fiordów (Isfjorden, Kongsfjorden, Hornsund). Brakuje informacji, ile prób pobrano w każdym fiordzie z wykorzystaniem konkretnego typu sprzętu.

Chciałabym również zapytać, jakimi przesłankami kierował się Doktorant, dzieląc próby na cztery klasy głębokości (0–30, 31–100, 101–200, 201–400 m), przy jednoczesnym pominięciu innych zmiennych środowiskowych, takich jak temperatura, zasolenie czy typ podłoża, które wcześniej wskazano jako rejestrowane dla każdej próby. Prosiłabym o wyjaśnienie, dlaczego to właśnie głębokość została potraktowana jako główny czynnik porządkujący. W mojej ocenie bardziej zasadne byłoby zastosowanie analiz wielowymiarowych, pozwalających na ocenę względnego wpływu poszczególnych zmiennych środowiskowych na strukturę badanych zespołów. Prosiłabym o komentarz, czy Doktorant widzi możliwość zastosowania takiego podejścia oraz jakie metody ordynacyjne uznałby za najbardziej adekwatne.

Mam również uwagę dotyczącą interpretacji wyników analizy nMDS oraz analizy klasterowej (Fig. 3 i 4, s. 520). Część prób została pobrana w sposób ilościowy z relatywnie dużego obszaru (np. dredge, epibenthic sledge), co oznacza, że pojedyncza próba mogła obejmować kilka różnych habitatów. W związku z tym wniosek o braku porządkowania zespołów względem głębokości (s. 515) wydaje się wymagać ostrożniejszej interpretacji.

Analiza klasterowa przedstawiona na Fig. 3 (s. 520) ilustruje podobieństwo między gatunkami szkarłupni. Jeśli do analizy włączono przedstawicieli różnych gromad Echinodermata, reprezentujących odmienne linie ewolucyjne, strategie troficzne, preferencje siedliskowe oraz poziomy mobilności, niski poziom podobieństwa pomiędzy gatunkami nie wydaje się zaskakujący, lecz raczej oczekiwany. W mojej ocenie uzyskany poziom podobieństwa (~20%, a nie ~40%, jak sugeruje Doktorant) nie stanowi sam w sobie szczególnie zaskakującego wyniku. Prosiłabym zatem o komentarz dotyczący interpretacji tej analizy.

Pewne zastrzeżenia mam również do interpretacji wyników przedstawionych w części Conclusions, a w szczególności do stwierdzenia, że mimo zróżnicowania fiordów pod względem warunków środowiskowych (temperatura, zasolenie, sedymentacja), fauna szkarłupni nie wykazuje istotnych różnic pomiędzy fiordami. Nie jestem przekonana, że przedstawione dane jednoznacznie wspierają taki wniosek. Już pobieżna analiza składu gatunkowego sugeruje, że część gatunków występuje wyłącznie w określonych fiordach (np. szczególnie w Isfjorden, Tabela 2). Prosiłabym zatem o doprecyzowanie, na jakiej podstawie Doktorant formułuje wniosek o braku istotnych różnic faunistycznych pomiędzy badanymi obszarami.

Praca zawiera również szereg niejasności narracyjnych, które utrudniają odbiór i interpretację wyników. Przykładowo autorzy stwierdzają, że nie odnaleziono 30 gatunków wcześniej raportowanych ze Svalbardu (Palerud et al. 2004), jednak nie wskazują, o które gatunki chodzi ani jaka część z nich była związana z siedliskami określonymi jako deep water lub open shelf. Terminy te nie zostały jednoznacznie zdefiniowane. Podobne wątpliwości budzi podział przedstawiony na Fig. 5 na regiony W. Norway, N. Norway, W. Spitsbergen i E. Spitsbergen. W tekście brakuje definicji tych jednostek przestrzennych, mapy ich granic lub odniesienia do źródła takiego podziału.

PUBLIKACJA 2. Deja, K., Ormańczyk, M., Dragańska-Deja, K., 2019. Plankton or benthos: where krill belongs in Spitsbergen fjords? (Svalbard Archipelago, Arctic). *Polar Biol* 42, 1415–1430. <https://doi.org/10.1007/s00300-019-02524-1> opisuje funkcjonalną rolę kryla w fiordach Spitsbergenu. Podjęta została interesująca próba zakwestionowania klasycznego podziału organizmów na pelagiczne i denne, pokazując, że kryl tradycyjnie uznawany za komponent planktonu, może odgrywać istotną rolę również w strefie przydennej. Na podstawie materiału wideo ze 107 stacji oraz równoległych połówów planktonowych wykazano częste występowanie kryla w bezpośrednim sąsiedztwie dna oraz jego potencjalny udział w redystrybucji materii organicznej na styku pelagialu i bentosu.

Zastosowanie komplementarnych metod badawczych, łączących klasyczne pobory planktonowe (Tucker trawl) z obserwacjami in situ przy użyciu systemów kamer podwodnych, umożliwiło Doktorantowi analizę fauny warstwy przydennej, zazwyczaj trudnej do uchwycenia przy zastosowaniu standardowych metod połowowych. Na szczególną uwagę zasługują również obserwacje behawioralne, w tym dokumentacja near-bottom aggregations oraz zachowania określanego jako nose diving, sugerującego aktywne żerowanie kryla przy dnie. Doktorant podejmuje także istotną próbę oszacowania udziału biomasy kryla związanej ze strefą przydenną, wskazując na potencjalnie ważną rolę tych agregacji w funkcjonowaniu ekosystemów fiordowych.

Mimo dużej wartości tej pracy, którą w pełni doceniam, mam pewne uwagi dotyczące spójności narracji. Choć centralnym przedmiotem rozprawy pozostaje analiza agregacji kryla — co wyraźnie podkreślają zarówno tytuł, jak i końcowy akapit pracy — w części Results pojawiają się również dane dotyczące innych grup makrozooplanktonu, takich jak Chaetognatha, Amphipoda (np. Themisto), Copepoda czy Pteropoda (m.in. analizy przedstawione na Fig. 3 i 5). Proszę Doktoranta o wyjaśnienie celu włączenia tych grup do analizy oraz ich znaczenia dla głównej narracji pracy.

Poproszę również o uzasadnienie interpretacji struktury wielkościowej populacji *Thysanoessa inermis*. Autorzy stwierdzają, że populacja w Hornsund składa się głównie z osobników dorosłych (>21 mm), podczas gdy w Kongsfjorden „population structure is more even”. Nie jest jednak jasne, jak należy interpretować to stwierdzenie — czy oznacza ono większy udział osobników młodocianych, bardziej równomierny rozkład pomiędzy klasami wielkości, czy też odmienną strukturę demograficzną populacji.

Analiza zależności zagęszczenia kryla względem głębokości została opatrzona stwierdzeniem o braku istotnych korelacji pomiędzy obecnością agregacji kryla a głębokością oraz typem mas wodnych. Użycie sformułowania „no significant correlations” sugeruje, że wykonano formalne analizy statystyczne, jednak w pracy nie podano, jakie testy zostały zastosowane, jakie zmienne porównywano ani jakie wartości statystyk uzyskano. Proszę Doktoranta o przedstawienie podstaw dla tak sformułowanego wniosku.

Chciałabym również zwrócić uwagę na bardzo interesującą dyskusję, dobrze osadzoną w literaturze i świadczącą o dobrej znajomości ekologii kryla oraz funkcjonowania arktycznych ekosystemów fiordowych. Szczególnie interesujące są hipotezy wyjaśniające obserwowane near-bottom aggregations, obejmujące m.in. unikanie drapieżników, dostępność pokarmu, wpływ cyrkulacji fiordowej oraz oddziaływanie sedymentacji glacialnej. Hipotezy te są przekonujące i stanowią wartościowy punkt wyjścia do dalszych badań.

Jednocześnie chciałabym zauważyć, że część proponowanych interpretacji ma charakter spekulacyjny i nie znajduje bezpośredniego potwierdzenia w wynikach przedstawionych w pracy. W kilku miejscach dyskusja wykracza poza zakres danych empirycznych, przechodząc od obserwacji do interpretacji bez wystarczającego wsparcia analitycznego. W rezultacie niektóre wnioski wydają się sformułowane bardziej stanowczo, niż pozwalają na to zaprezentowane dane.

PUBLIKACJA 3. Deja, K., Dragańska-Deja, K., Wesławski, J.M., 2023. New strategies for the new environment in Spitsbergen fjords (Arctic). Scattering of the feather star *Heliometra glacialis* (Echinodermata, unstalked crinoid) clinging to a crab. Polar Biol 46, 1137–1143. <https://doi.org/10.1007/s00300-023-03171-3> przedstawia obserwacje nietypowego zachowania liliowców *Heliometra glacialis*, zarejestrowanych podczas przyczepienia do pancerza krabów z rodzaju *Hyas*. Praca ma charakter obserwacyjny i opiera się na rzadkim, lecz bardzo interesującym materiale *in situ*. Obserwowane zachowanie Doktorant ocenia jako potencjalny przejaw plastyczności ekologicznej umożliwiającej funkcjonowanie organizmów filtrujących w środowiskach silnie zaburzonych przez intensywną sedymentację glacialną.

W mojej ocenie praca stanowi wartościowy, krótki raport naukowy dotyczący potencjalnie nowego zjawiska ekologicznego: występowania *Heliometra glacialis* przyczepionego do pancerza krabów z rodzaju, obserwowanego w silnie zaburzonych sedymentacyjnie fiordach Spitsbergenu. Zjawisko to zostało dobrze udokumentowane materiałem fotograficznym. Ponieważ praca ma charakter przede wszystkim obserwacyjny, a nie eksperymentalny czy analityczny, a liczba obserwacji stanowiących podstawę głównych wniosków pozostaje ograniczona, mam pewne zastrzeżenia do interpretacji sugerującej, że obserwowane zachowanie stanowi adaptację ułatwiającą kolonizację nowych siedlisk. W mojej opinii sformułowanie to jest zbyt odważne. Z perspektywy biologii ewolucyjnej wykazanie adaptacyjnego charakteru danego zachowania wymagałoby przynajmniej pośrednich dowodów wskazujących, że jest ono powtarzalne, zwiększa przeżywalność lub sukces reprodukcyjny organizmu bądź występuje częściej w określonych warunkach środowiskowych. Przedstawione w pracy obserwacje uważam jednak za niewystarczające do tak jednoznacznego wnioskowania. Alternatywnie, prostsze wyjaśnienie zakładałoby, że liliowce jako organizmy preferujące wyniesione, twarde podłoże zapewniające korzystniejsze warunki filtracji, oportunistycznie wykorzystują każdą dostępną strukturę wystającą ponad miękkie i niestabilne podłoże, niezależnie od tego, czy jest nią kamień, element aparatury badawczej czy pancerz kraba. Dlatego obserwowany związek interpretowałabym raczej jako interesujący, lecz rzadki przykład zachowania oportunistycznego niż jako potwierdzoną adaptację w sensie ewolucyjnym. Doceniam, że Doktorant zachowuje ostrożność interpretacyjną w części Conclusions, przyznając, że obserwowane zjawisko może mieć charakter incydentalny i stanowić pojedyncze, przypadkowe zdarzenie. Taka refleksja świadczy o umiejętności krytycznej oceny własnych wyników, co oceniam bardzo wysoko. Mam jednak wrażenie, że zastrzeżenie to lepiej wybrzmiałoby już w części Discussion, jako naturalny element omówienia ograniczeń badania, a nie dopiero we wnioskach końcowych.

PUBLIKACJA 4. Deja, K., 2025. Observation of discarded appendicularian houses in the benthic and pelagic zones of Spitsbergen fjords using drop-camera imagery. Mar Ecol Prog Ser 771, 71–88. <https://doi.org/10.3354/meps14946> dotyczy znaczenia porzuconych domków ogonic jako źródła materii organicznej transportowanej do dna morskiego. Praca opiera się na analizie 253 stacji wideo i dokumentuje epizody masowego opadania domków ogonic na powierzchnię osadu; wykazano, że zjawisko to może stanowić istotny, choć pulsacyjny mechanizm transportu węgla organicznego do bentosu, wzmacniając sprzężenie pomiędzy procesami pelagicznymi i dennymi w fiordach

Spitsbergenu. Szczególną wartość pracy stanowi wykorzystanie obserwacji in situ z użyciem systemu drop camera, co umożliwiło dokumentację zjawiska praktycznie niedostępnego dla klasycznych metod próbkowania i uchwycenia epizodycznych procesów transportu materii organicznej do bentosu. Na uznanie zasługuje również rozbudowana i dojrzała dyskusja, świadcząca o bardzo dobrej znajomości literatury przedmiotu. Doktorant umiejętnie osadza własne obserwacje w szerszym kontekście ekologii galaretowatego zooplanktonu, procesów eksportu węgla oraz dynamicznych zmian środowiskowych zachodzących w Arktyce, takich jak atlantyfikacja czy zmiany produktywności biologicznej.

Jednocześnie, mimo wysokiej wartości merytorycznej artykułu, kilka aspektów metodologicznych i interpretacyjnych wymaga doprecyzowania. Komentarza wymaga niekonsekwencja terminologiczna dotycząca użycia pojęcia GZ (gelatinous zooplankton). W świetle współczesnej literatury ogonice (Appendicularia/Larvacea) zaliczane są do galaretowatego zooplanktonu. Tymczasem w części Results autor używa sformułowania „quantitative counts of appendicularians and GZ representatives”, co sugeruje traktowanie ogonicy GZ jako dwóch odrębnych kategorii. Dla zachowania precyzji terminologicznej warto doprecyzować, czy autor miał na myśli ogonice oraz inne grupy galaretowatego zooplanktonu.

Mam również wątpliwości dotyczące sposobu oszacowania wartości związanych z biomasą węglową oraz potencjalną depozycją węgla przy dnie. W części dyskusyjnej autor odwołuje się do konkretnych wartości carbon stock oraz carbon flux, jednak w metodyce nie znalazłam wystarczająco szczegółowego opisu sposobu wykonania tych przeliczeń. Nie jest jasne, jakie równania, współczynniki konwersji ani założenia zostały zastosowane do przejścia od obserwowanej liczebności ogonicy ich domków słuzowych do oceny ilości węgla.

Pewne wątpliwości budzi również interpretacja danych środowiskowych w analizie. Wcześniej w części „Research area” Doktorant deklaruje, że materiał pochodzi z pięciu fiordów, natomiast analiza hydrologiczna i fluorescencyjna przedstawiona na Fig. 5 (str. 80) obejmuje jedynie trzy z nich. Nie znalazłam jednoznacznego wyjaśnienia, dlaczego dwa pozostałe fiordy zostały wyłączone z tej części analizy. Dodatkowo brakuje przejrzystego zestawienia danych hydrologicznych, takich jak temperatura, zasolenie czy fluorescencja, dla poszczególnych stacji oraz w jakim stopniu dane hydrologiczne i fluorescencyjne zostały wykorzystane analitycznie. Z tekstu wynika, że służą one przede wszystkim jako tło interpretacyjne dla dyskusji ekologicznej, jednak nie przedstawiono formalnych analiz statystycznych testujących zależności pomiędzy zmiennymi środowiskowymi a liczebnością badanych organizmów.

PUBLIKACJA 5. Deja, K., Uchman, A., 2025. Surface lebensspuren and their tracemakers in Arctic fjords of Spitsbergen: Patterns, diversity, and environmental controls. *Pol Polar Res* 46, 147–165. <https://doi.org/10.24425/ppr.2025.154567> prezentuje analizę lebensspuren oraz identyfikacji organizmów odpowiedzialnych za ich powstawanie. W oparciu o dane uzyskane z 206 stacji wyróżniono 19 typów śladów biogenicznych, z których osiem opisano po raz pierwszy dla fiordów Spitsbergenu. Szczególną wartość pracy stanowi bezpośrednie powiązanie śladów z ich

wytwórcami, co w badaniach neoichnologicznych środowisk morskich prezentowane jest rzadko. Bogaty i dobrej jakości materiał zdjęciowy śladów pozostawionych przez przedstawicieli megabentosu sobrazowano na 4 planszach (rys 2–5, str. 151–155) podnosi wartość poznawczą oraz dokumentacyjną opracowania.

Moje uwagi krytyczne dotyczą przede wszystkim przejrzystości prezentacji materiału badawczego oraz sposobu interpretacji części analiz statystycznych. W części Materials and Methods początkowo odnosi się wrażenie, że zasadnicza analiza dotyczy kilku głównych fiordów Spitsbergenu, jednak w dalszej części pracy liczba analizowanych lokalizacji stopniowo rozszerza się o dodatkowe stanowiska szelfowe oraz pojedyncze stacje z innych fiordów. Tabela 1 wprowadza kolejny poziom grupowania danych (m.in. kategorię Others), co utrudnia śledzenie struktury zestawu danych.

Rysunki 2–5 są bardzo wartościowe pod względem ilustracyjnym, jednak pozostaje niejasne, według jakiego klucza uporządkowano prezentowany materiał. Rozdzielenie na poszczególne ryciny nie wydaje się konsekwentnie oparte ani na taksonomii organizmów śladotwórczych, ani na kategorii etologicznej, ani na typie morfologicznym śladów. Bardziej przejrzyste uporządkowanie materiału ilustracyjnego lub krótkie wyjaśnienie przyjętej logiki podziału ułatwiłoby czytelnikowi powiązanie zaproponowanej klasyfikacji z prezentowanymi przykładami.

Mam również uwagę dotyczącą klasyfikacji stacji do kategorii *Glacier Influence*, *River Influence* oraz *No Direct Influence*. Choć Autorzy podają, że wykorzystano pomiary odległości od czoła lodowca i ujścia rzeki glacialnej, nie wyjaśniono, według jakich kryteriów przypisywano stacje do poszczególnych grup; ponadto wpływ lodowców i rzek wydaje się raczej ciągłym gradientem środowiskowym niż zbiorem trzech dyskretnych kategorii. W tym kontekście mam również pewne wątpliwości dotyczące interpretacji analizy nMDS (rys. 6, str. 156). Doktorant słusznie zauważa, że analiza nie wykazała wyraźnych grupowań, jednak w kolejnym zdaniu stwierdza, że widoczna jest „clear spatial organization” związana z kategoriami „station type”. W mojej ocenie wniosek ten nie znajduje dostatecznie mocnego potwierdzenia w zaprezentowanej wizualizacji wyników. Dodatkowo dwie z trzech ordynacji charakteryzują się stosunkowo wysokimi wartościami stresu ($> 0,2$), co nakazuje ostrożność w interpretacji. Jeśli celem było wykazanie różnic pomiędzy kategoriami stacji, bardziej przekonujące byłoby uzupełnienie analizy o formalny test statystyczny, np. PERMANOVA lub ANOSIM. Chciałabym zapytać, czy Doktorant widzi możliwość zastosowania takiego podejścia.

Moje wątpliwości budzi również interpretacja danych przedstawionych na rys. 7. Doktorant stwierdza, że w wewnętrznych częściach fiordów dominują ślady przypisywane *Urasterias lincki*, natomiast na stacjach położonych bliżej czoła lodowca istotny udział mają także ślady przypisywane Caridea oraz Ophiuroidea. Interpretacja ta jest oczywiście biologicznie interesująca i może odzwierciedlać rzeczywiste różnice przestrzenne, jednak sposób prezentacji danych nie pozwala w pełni ocenić siły tego wniosku. Diagramy kołowe mają zbliżoną wielkość, co wizualnie sugeruje podobną wagę wszystkich stacji, mimo że liczba obserwacji pomiędzy stacjami prawdopodobnie

istotnie się różni. W efekcie stacje reprezentowane przez pojedyncze obserwacje mogą wizualnie mieć podobne znaczenie jak stacje z licznymi rekordami, co utrudnia ocenę rzeczywistej siły obserwowanych wzorców.

Podobne zastrzeżenia mam wobec interpretacji liczby rekordów i wartości procentowych przedstawionych w tabelach 1 i 2. Samo sumowanie liczby obserwacji dla poszczególnych typów lebensspuren dostarcza ograniczonej informacji, ponieważ nie pokazuje zmienności pomiędzy stacjami ani nie uwzględnia potencjalnego wpływu liczby obserwacji czy intensywności próbkowania. Bardziej informacyjne mogłoby być przedstawienie miar rozkładu wartości pomiędzy stacjami (np. mediany wraz z zakresem lub rozrzut międzykwartylowy) lub choćby danych wystandaryzowanych względem powierzchni analizowanego obszaru.

Pewne wątpliwości budzi również analiza korelacyjna przedstawiona na Fig. 8. W mojej opinii część uzyskanych zależności ma charakter intuicyjny. Przykładowo dodatnia korelacja pomiędzy „richness” fauny a „richness tracemakers” jest logiczna, ponieważ potencjalni śladotwórcy stanowią podzbiór analizowanej megafauny. Podobnie dodatnia zależność pomiędzy liczebnością śladów a liczebnością tracemakers potwierdza raczej wewnętrzną spójność zestawu danych niż ujawnia nowe wzorce ekologiczne. Ponadto ujemna korelacja pomiędzy „bottom turbidity” a bogactwem fauny oraz tracemakers wydaje się biologicznie uzasadniona i wspiera hipotezę o negatywnym wpływie zaburzeń glacialnych na strukturę zespołów bentosowych, ale zachowałabym ostrożność interpretacyjną. Korelacja Spearmana wskazuje jedynie na współzmienność zmiennych i sama w sobie nie pozwala na wnioskowanie o relacjach przyczynowo-skutkowych. Dodatkowo część parametrów środowiskowych, takich jak wpływ lodowca, poziom zawiesiny czy dystans od czoła lodowca, może być silnie współzależna, co utrudnia wskazanie rzeczywistego czynnika odpowiedzialnego za obserwowane wzorce.

Wątpliwości metodologiczne budzi także wykorzystanie korelacji Spearmana dla zmiennej „station type”. Z opisu pracy wynika, że zmienna powinna być klasyfikowana jako kategoria (glacier influence, river influence, no direct influence), a nie ciągły. W takiej sytuacji zastosowanie analizy korelacyjnej nie jest odpowiednim podejściem, ponieważ współczynnik Spearmana zakłada przynajmniej porządkowy charakter danych wejściowych. Być może w analizie zastosowano dodatkowe przekształcenia lub sposób kodowania danych, który uzasadnia takie podejście, stąd prosiłabym Doktoranta o krótkie doprecyzowanie tej kwestii. W mojej opinii bardziej odpowiednim podejściem statystycznym byłaby analiza porównująca skład zespołów pomiędzy kategoriami stacji, np. PERMANOVA, która lepiej odpowiada biologicznemu pytaniu stawianemu w pracy.

Oceana rozprawy jako całości

Podsumowując, pięć publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej mgr. Kajetana Deji tworzy spójny i wartościowy cykl badawczy, wnoszący istotny wkład do poznania funkcjonowania arktycznych ekosystemów fiordowych. Szczególnie wysoko oceniam wybór tematu badawczego,

który jest oryginalny, aktualny i naukowo bardzo potrzebny. Największą wartością pracy jest odejście od czysto opisowego ujęcia bentosu na rzecz analizy procesów ekologicznych, takich jak aktywność megafauny, sprzężenie pelagialu i bentosu oraz rola lebensspuren jako zapisu funkcjonowania dna morskiego. Przedstawiona rozprawa dostarcza nowych i cennych danych dotyczących ekosystemów szczególnie wrażliwych na zmiany klimatyczne, sedymentację glacialną oraz postępującą atlantyfikację. Jest to solidny i potrzebny wkład w rozwój ekologii morza oraz badań polarnych.

W mojej opinii, w pracy zabrakło także wyraźnie sformułowanych hipotez badawczych. Wstęp, choć interesujący i dobrze napisany, ma miejscami charakter dość swobodnej narracji wprowadzającej do tematu. W tej części rozprawy oczekiwałam raczej klarownego przedstawienia problemu badawczego i aktualnego stanu wiedzy, poprzez sformułowanie hipotez i ich rzetelne uzasadnienie, aż po jednoznaczne odniesienie się do nich w końcowej dyskusji. Taki układ nadałby pracy większą spójność i lepiej podkreślił jej wewnętrzną logikę, a przede wszystkim czynił ją możliwie zamkniętym i kompletnym dziełem naukowym, w którym autor prowadzi czytelnika przez kolejne etapy od pytania naukowego po syntetyczny wniosek. Tego elementu w ocenianej pracy mi zabrakło.

Moje główne uwagi krytyczne dotyczą sposobu prezentacji danych oraz części analiz statystycznych. W kilku miejscach logika prezentacji materiału nie jest wystarczająco przejrzysta i wymaga od odbiorcy samodzielnego rekonstruowania toku rozumowania autora. Pewne zastrzeżenia budzi również dobór i interpretacja zastosowanych metod statystycznych. W mojej ocenie część analiz, choć poprawna technicznie, nie zawsze w pełni odpowiada biologicznym pytaniom stawianym w pracy. Dotyczy to zwłaszcza interpretacji analiz ordynacyjnych oraz wykorzystania prostych analiz korelacyjnych do opisu relacji pomiędzy złożonymi zmiennymi środowiskowymi i biologicznymi. W kilku przypadkach bardziej adekwatne wydawałyby się metody pozwalające bezpośrednio testować różnice w strukturze zespołów, takie jak PERMANOVA, lub podejścia modelowe lepiej uwzględniające wielowymiarowy charakter danych ekologicznych.

Nie mam wątpliwości co do samodzielności Kandydata w zaplanowaniu i realizacji badań. Kandydat wykazał się bardzo dobrą wiedzą teoretyczną w dyscyplinie nauki biologiczne, a szczególnie wysoko oceniam poziom merytoryczny części dyskusyjnych, które są ambitne, dojrzałe naukowo i świadczą o umiejętności osadzania własnych wyników w szerokim kontekście literaturowym. Fakt, że wyniki badań zostały już opublikowane w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym potwierdza posiadanie odpowiedniej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie i w odniesieniu do obiektu badań Doktoranta.

Konkludując pragnę stwierdzić, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska spełnia kryteria art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65/2003, poz. 595, z późn. zm.), zatem zgłaszam Radzie Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Instytutu Oceanologii PAN wniosek o uznanie, że rozprawa Pana mgr Kajetana Deji odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim oraz o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

