

Prof. dr hab. Ryszard Kornijów
Zakład Oceanografii Rybackiej i Ekologii Morza
Morski Instytut Rybacki - Państwowy Instytut Badawczy
81-331 Gdynia, ul. Kollątaja 1

Gdynia, 9.12.2025

Ocena rozprawy doktorskiej mgr Anny Sowy

pt. *Colonisation process in the littoral zone of a dynamic Arctic marine environment*

Dziedzina nauk ścisłych i przyrodniczych
Dyscyplina nauk o Ziemi i środowisku

Promotorzy:

dr hab. Lech Kotwicki, prof. IO PAN, Sopot
dr hab. Anna Iglikowska, prof. UG

Jednostka prowadząca przewód doktorski:
Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk

Data złożenia rozprawy:
2025

Podstawa wykonania recenzji

Niniejsza ocena rozprawy doktorskiej mgr Anny Sowy pt. *Colonisation process in the littoral zone of a dynamic Arctic marine environment* została wykonana na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie (pismo z dnia 22.10.2025 r., podpisane przez prof. dr hab. Monikę Kędrę). Recenzja obejmuje ocenę merytoryczną, metodologiczną i formalną dysertacji oraz analizę stopnia, w jakim spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim w dyscyplinie nauk o Ziemi i środowisku.

Uwagi formalne

Rozprawa doktorska mgr Anny Sowy ma nietypową strukturę. Została napisana w języku angielskim (z obszernym streszczeniem w języku polskim) i składa się z sześciu rozdziałów. Pierwszy z nich stanowi ogólne wprowadzenie do tematyki pracy, drugi opisuje teren badań oraz zastosowane metody, natomiast rozdziały trzeci, czwarty i piąty mają formę i układ zbliżony do oddzielnych artykułów naukowych. Ostatni rozdział - szósty obejmuje podsumowanie wniosków. Taki układ rozprawy jest jak najbardziej poprawny i sugeruje, że część rozprawy jest na etapie przygotowywania do druku, bądź została wysłana do redakcji czasopisma. Przy takiej konstrukcji zauważalny jest jednak brak rozdziału zawierającego ogólną dyskusję i syntezę wyników. Taki rozdział mógłby dodatkowo porządkować i scalać przedstawione zagadnienia, jednak jego brak nie wpływa na ostateczną, bardzo pozytywną ocenę całości pracy.

Zakres tematyczny rozprawy jest szeroki i pozostaje spójny z jej tytułem: „*Colonisation process in the littoral zone of a dynamic Arctic marine environment*”. Dobrze, że tytuł nie doprecyzowuje terenu badań (Isfjorden, Archipelag Svalbard). Dzięki temu uniknięto wrażenia (a na etapie publikacji być może także zarzutu), że badania i wyprowadzone z nich wnioski mają znaczenie lokalne.

Opracowanie oparto na obfitym materiale zbieranym w latach 2005–2020. Pojawia się w tym momencie kwestia dotycząca udziału doktorantki w badaniach terenowych. Ze względu na długi okres zbierania danych, szczególnie na początku zakresu czasowego, Doktorantka najprawdopodobniej nie mogła osobiście uczestniczyć w tym etapie. W rozprawie jedynie wspomniano, że prace terenowe były realizowane przez naukowy zespół nurków z IO PAN. Te informacje zostały uszczegółowione po zwróceniu się przeze mnie do promotorów rozprawy. Okazuje się, że z powodów logistycznych, a także ze względu na wymogi bezpieczeństwa Doktorantka nie brała udziału w części terenowej badań. Natomiast opracowała cały pobrany materiał w laboratorium (zdjęcia, oznaczenia gatunkowe, określanie powierzchni skolonizowanej, itd.). Również analizy statystyczne, wizualizacje i interpretacje pani mgr Anna Sowa zrealizowała samodzielnie.

Rozprawa napisana jest przejrzystie bardzo dobrym językiem angielskim, a w części streszczenia, także polskim. Potknięcia redakcyjne są nieliczne. Wymieniam je, by łatwiej było poprawić manuskrypt przed wysłaniem do druku:

- w tytule Fig. III.8 brakuje zaznaczenia z którego roku pochodzą dane zagęszczenia
- niezasadne używanie kropki po znaku zapytania, np.:
Todd, C.D. (1998). Larval supply and recruitment of benthic invertebrates: do larvae always disperse as much as we believe?. *Hydrobiologia*, 375(0), 1-21.
- niekonsekwentnie pisanie tytułów czasopism - z małej lub dużej litery, np.:
Marine ecological processes
Journal of Experimental Marine Biology and Ecology
Kuklinski, P. and Barnes, D.K.A. (2005). Microhabitat diversity of Svalbard Bryozoa. *Journal of Natural History*, 39(7), 539-554.
Kuklinski, P. and Taylor, P.D. (2008). Arctic species of the cheilostome bryozoan *Microporella*, with a redescription of the type species. *Journal of natural history*, 42(27-28), 1893-1906.

Ocena merytoryczna

Rozdział I - *General introduction* następuje po obszernym streszczeniu w języku polskim i angielskim. Autorka opisuje w nim znaczenie fauny bentosowej w Arktyce, zwłaszcza organizmów zasiedlających twarde podłoża w strefie przybrzeżnej. Podkreśla ich kluczową rolę w układzie bentos–pelagial oraz przedstawia przegląd czynników abiotycznych i biotycznych wpływających na kolonizację podłoża. Podkreśla, że biocenozy twardego dna są stosunkowo słabo poznane, chociaż mogą stanowić cenne wskaźniki zmian środowiskowych. Zwraca uwagę na wyzwania związane z monitoringiem w Arktyce i na konieczność prowadzenia wieloletnich obserwacji, aby odróżniać zmiany długoterminowe od efektów zdarzeń ekstremalnych, np. krótkotrwałych wzrostów temperatur.

Doktorantka przedstawia też ogólne założenia metodyczne, przyjęte w rozprawie. Opierały się one o eksperyment, polegający na analizie organizmów zasiedlających zainstalowane pod wodą konstrukcje z płytkami o różnych orientacjach przestrzennych. Tekst we wprowadzeniu

jest napisany klarownie, łącząc spójnie przegląd literatury, opis środowiska, aż po uzasadnienie zastosowanej metodyki. Wyraźnie zaznaczone zostały niedostatecznie poznane obszary wiedzy, co uzasadniło podjęcie badań.

Pod koniec wstępu Autorka wytyczyła przejrzyste i ambitne cele badawcze:

1. Porównanie struktury zespołów litofilnych Isfjordu w dwu okresach rozdzielonych piętnastoma latami (2005 vs. 2020) - Rozdział III.
2. Określenie długoterminowych (okres 11 lat) zmian w zespołach bentosowych w cyklu rocznym - Rozdział IV.
3. Zbadanie wpływu orientacji podłoża i drapieżnictwa na epibentosu twardego dna - Rozdział V.

Rozdział II – *Study area and general protocol* zawiera kompleksowy opis obszaru badań oraz zastosowanych metod – terenowych, laboratoryjnych i statystycznych. Doktorantka wykazuje wysoki poziom znajomości uwarunkowań środowiskowych. Szczegółowy opis fiordu Isfjorden – jego hydrologii, wpływu mas wodnych oraz zróżnicowania stref infralittoralnej i circalittoralnej – jest jasny i dobrze osadzony w literaturze, co pozwala czytelnikowi zrozumieć fizyczne i ekologiczne tło eksperymentu.

Na uznanie zasługuje bardzo precyzyjny opis protokołu terenowego - konstrukcje eksperymentalne i organizację corocznego poboru prób. Z opisu wynika spełnienie warunku powtarzalności badań. Autorka odnosi się do uznanych standardów metodologicznych (Todd & Turner, 1986; Kukliński et al., 2022), a także omawia ograniczenia metody, np. możliwość dostępu drapieżników do płytek, co świadczy o krytycznym podejściu do badań.

W części dotyczącej analiz statystycznych wymienione są zastosowane narzędzia: PERMANOVA, analizy post-hoc, transformacje danych oraz metody klasyfikacyjne (LINKTREE).

Autorka odniosła się do postawionych hipotez w odpowiednich podrozdziałach dyskusji oraz w ostatnim rozdziale, *General Conclusions*. Świadczy to o bardzo dobrze opanowanym warsztacie naukowym i umiejętności spełniania wymogów formalnych, w tym – konieczności wyraźnego ustosunkowania się do hipotez i oceny, na ile uzyskane wyniki pozwalają uznać założenia wstępne za prawdziwe bądź je odrzucić.

Przechodzę teraz do omówienia treści trzech rozdziałów, których struktura przypomina manuskrypty składane do druku.

Rozdział III - Comparison of lithophile assemblage in a high Arctic fjord between 2005 and 2020

W tej części pracy udokumentowano znaczne różnice w strukturze dominacji fauny, wynikające ze wzrostu bądź spadku liczebności pewnych taksonów w porównywanych okresach. Jako hipotezę założono wystąpienie istotnych różnic w składzie bentosu pomiędzy okresami badawczymi.

Zaletą rozdziału jest przeprowadzenie powtarzalnych pomiarów w tym samym miejscu oraz użyciem identycznej metodologii, co daje wiarygodne dane do określenia długofalowych

trendów. Warto zauważyć analizę statystyczną wyników (ANOSIM, PERMANOVA, LINKTREE) pozwalającą wykazać istotność czynników takich jak rok, głębokość i lokalizacja.

W dyskusji Autorka przedstawia możliwe przyczyny zmian w świetle lokalnych anomalii termicznych, zmian pokrywy lodowej czy wzrostu produkcji pierwotnej, wskazując na zbieżność obserwacji z wcześniejszymi badaniami arktycznymi. Wyraźnie podkreśla szczególną wrażliwość ekosystemów fiordowych na zmiany środowiskowe ze względu na specyfikę zespołów organizmów o wąskich zakresach tolerancji termicznej. Jej uwaga, by nie ograniczać się do „gatunków charyzmatycznych”, dobrze świadczy o wyważonym i całościowym podejściu do ochrony bioróżnorodności.

Pani mgr Sowa nie wyciąga pochopnych wniosków o borealizacji zespołu, podkreślając rolę naturalnej zmienności i ograniczeń wynikających z zastosowanej metodyki (liczby powtórzeń).

Ze swojej strony wskazałbym też na inne ograniczenia podjętych badań:

- Interpretacje wyników dotyczące wpływu temperatury i lodu są w dużej mierze oparte na dostępnych danych satelitarnych, podczas gdy w strefach przydennych takie czynniki, jak zasolenie, stężenie tlenu, zanieczyszczenia czy sezonowość produkcji pierwotnej mieć istotny wpływ na zachodzące zmiany środowiskowe. Dodatkowo, fiordy arktyczne są bardzo heterogeniczne, i nawet drobne różnice w ekspozycji czy napływie wód mogą powodować lokalne efekty modyfikujące ogólne trendy klimatyczne.
- Badanie opiera się na dwóch punktach czasowych oddalonych o 16 lat, co pozwala na wykazanie wyraźnych różnic, ale nie daje pewności, czy obserwowane zmiany mają charakter liniowy, sezonowy czy epizodyczny. Ten aspekt został uwzględniony w następnym, IV rozdziale rozprawy.

Rozdział IV - Decadal monitoring of lithophile assemblage structure (2010 - 2020)

Przedstawiono tu wyniki wieloletniego, systematycznego monitoringu zmian zespołów litofilnych w fiordzie Isfjorden w latach 2010–2020, dobrze uzasadniając wybór problematyki kontekstem szybko zachodzących zmian klimatycznych w Arktyce. Autorka postawiła hipotezę, że lata charakteryzujące się wyraźnie odmiennymi, wystandaryzowanymi kategoriami anomalii klimatycznych doprowadzą do mierzalnych reakcji zespołu bentosowego. Dodatkowo założyła, że w cieplejszych warunkach nastąpi zauważalny wzrost udziału gatunków borealnych w bentosie.

Wyniki wskazują na nieliniowe zmiany w składzie gatunkowym i liczebności epibenterów, będące efektem cieplnych. Nie potwierdzono masowej ekspansji nowych gatunków borealnych, choć udział już obecnych borealnych taksonów wzrastał w cieplejszych latach.

Na uznanie zasługuje konsekwencja w doborze metod badawczych. Coroczne pobory z użyciem standaryzowanych płytek kolonizacyjnych i zaawansowana analiza statystyczna pozwoliły na wiarygodne porównania i śledzenie subtelnych zmian w strukturze zespołów bezkręgowców bentosowych.

Bogactwo taksonomiczne i szczegółowe klasyfikacje biogeograficzne umożliwiły wnikliwe śledzenie ewentualnych symptomów borealizacji fauny. Autorka rzetelnie, a jednocześnie z ostrożnością interpretuje wyniki, wskazując na wieloczynnikowy charakter obserwowanych

fluktuacji. Zwraca uwagę na nieregularność i roczne przesunięcie reakcji w odpowiedzi biocenozy na fale ciepła, jak również na trwałość składu fauny, jednak bez wyraźnego przesunięcia w kierunku dominacji fauny borealnej.

Pewne ograniczenia przedstawianych w rozdziale rozważań wynikają z przyczyn podobnych do wymienionych podczas omawiania rozdziału poprzedniego. Nie umniejszają one jednak jego wartości, jako przykładu nowoczesnego i głęboko przemyślanego monitoringu fauny. Stanowi on znaczący krok naprzód w poznaniu dynamiki zespołów litofilnych Arktyki, a jednocześnie podkreśla złożoność procesów zachodzących w regionach.

Rozdział V - Impact of substrate orientation and predation on assemblage structure

Rozdział oparty jest o przejrzysty, wieloczynnikowy eksperyment terenowy, obejmujący trzy typy orientacji podłoża eksperymentalnych – płytek kolonizacyjnych (poziome: ku dołowi i ku górze oraz pionowe) oraz analizę intensywności drapieżnictwa oraz śladów bioerozyjnych. Sformułowano hipotezę, że na płytkach skierowanych ku górze żerowanie drapieżników będzie intensywniejsze niż na płytkach ustawionych w innych kierunkach.

Wyniki wskazują, że orientacja podłoża jest bardzo ważnym czynnikiem kształtującym strukturę zasiedlenia – potwierdza to zarówno wielkość pokrycia przez organizmy, jak i skład dominacji fauny. Wykazano, że największe bogactwo taksonomiczne i intensywność kolonizacji cechuje podłoża skierowane ku dołowi. Jednocześnie stwierdzono, że płyty skierowane ku górze podlegają najmniejszej presji drapieżniczej oraz wykazują najniższe pokrycie, co może być efektem preferencji larw do siedlisk zacienionych i/lub tzw. efektu sedymentacji. Ślady drapieżnictwa Autorka przypisuje głównie żerowaniu jeżowców, zaś brak dowodów na intensywną działalność innych typowych drapieżników - ograniczeniom metodycznym.

Dostrzeżone ograniczenia eksperymentu, m.in. krótkie okresy zanurzenia, możliwa artefaktowość części śladów (np. antropogeniczne uszkodzenia), czy trudności w bezpośrednim przypisaniu ich aktywności konkretnych drapieżców, zostały otwarcie przedstawione w dyskusji. Doktorantka zwróciła też uwagę na ogólną metodologiczną trudność odróżnienia subletalnych wpływów drapieżców od śladów bioerozji.

Reasumując, rozdział V wnosi istotny wkład do poznania roli interakcji biotycznych – konkurencji i presji drapieżniczej – w kształtowaniu polarnych zbiorowisk litofilnych bezkręgowców, jednocześnie sygnalizując zakres ograniczeń oraz kierunki przyszłych badań nad mechanizmami kształtującymi ich strukturę

Rozdział VI - General conclusions

Rozdział zawiera syntetyczne podsumowanie kluczowych wyników pracy, z logicznym wyprowadzeniem wniosków z obszernego materiału empirycznego. Doktorantka trafnie akcentuje dynamikę składu, wzrost udziału organizmów borealnych w cieplejszych latach oraz spadek liczebności gatunku endemicznego *Harmeria scutulata*, co ma wysoką wartość poznawczą w kontekście badań nad zmianami klimatycznymi w Arktyce.

Na uznanie zasługuje także uwzględnienie złożoności odpowiedzi ekologicznych, m.in. wskazanie na znaczenie efektu opóźnienia („lag”) w strukturze zespołu po latach o

podwyższonej temperaturze, jak również uwzględnienie wpływu czynników fizyczno-chemicznych i strukturalnych (orientacja płytek, obecność lasu kelpowego).

Wnioski dotyczące borealizacji są poprawne, jednak nie uwzględniają możliwych alternatywnych wyjaśnień dla zaobserwowanych wzorców (np. zmian w presji drapieżniczej, zmienności hydrodynamicznej czy charakterystycznych cykli sukcesji). Uważam, że krótka wzmianka o ograniczeniach interpretacyjnych mogłaby wzmocnić wartość podsumowania.

Pomimo tych drobnych zastrzeżeń rozdział stanowi dobrze skomponowane podsumowanie całości. Wnioski są spójne z zaprezentowanym materiałem, a przedstawiona interpretacja wyników świadczy o dobrej znajomości procesów ekologicznych w zespołach arktycznego bentosu.

Podsumowanie

Tematyka dysertacji mgr Anny Sowy, dotycząca zmian w zespołach zespołów litofilnych w fiordzie Isfjorden, wpisuje się w aktualne, światowe trendy badawcze związane z oddziaływaniem zmian klimatu na biocenozę regionów arktycznych. Autorka nie tylko opracowała unikalny, długoterminowy zbiór danych (obejmujący >200 tys. organizmów przez 16 lat), ale umiejętnie połączyła analizę środowiskową z biologiczną, zgodnie z najbardziej aktualnymi trendami naukowymi. Tak wieloletnie badania w warunkach arktycznych są rzadkością i dostarczają bazowego punktu odniesienia dla monitoringu zmian klimatycznych i ekologii bentosu w Arktyce. Szczególnie cenne są wnioski dotyczące bioindykacji oraz obserwacje nieregularnych, złożonych trendów pod wpływem lokalnych i globalnych czynników środowiskowych. Kwestia bioindykacji, podjęta w rozprawie, dodatkowo zwiększa jej znaczenie aplikacyjne opracowania.

Zawarte w opinii uwagi krytyczne nie umniejszają wysokich walorów poznawczych rozprawy. Praca w pełni spełnia kryteria doktoratu: Autorka wykazała się szeroką wiedzą z dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych, dobrą znajomością literatury fachowej, umiejętnością planowania i samodzielnego prowadzenia badań, analizy wyników i syntetycznego ich opracowania, stawiania i weryfikacji prawdziwości hipotez. Wyniki rozprawy mają nie tylko znaczenie poznawcze. Są też ważne z punktu widzenia ochrony ekosystemów polarnych oraz rozwoju narzędzi monitorowania środowiska. Tym samym opiniowana rozprawa doktorska spełnia wymagania określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami Dz. U. z 2007 r. poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z dnia 20 lipca 2018 roku, poz. 1669). **Wobec powyższego składam wniosek o dopuszczenie mgr Anny Sowy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.** Ponadto, biorąc pod uwagę bardzo wysoki poziom merytoryczny rozprawy doktorskiej **zwracam się z wnioskiem o stosowne jej wyróżnienie.**

