

dr hab. Adam Sokołowski, prof. UG  
Wydział Oceanografii i Geografii  
Uniwersytet Gdański  
Al. Marszałka Piłsudskiego 46  
81-378 Gdynia

## Recenzja

### **rozprawy doktorskiej Pani mgr Marty Szczepanek**

pt. *„The role of organic matter in shaping the diversity and trophic structure of benthic communities in the coastal zone of the southern Baltic Sea”*

Praca została wykonana w Zakładzie Ekologii Morza Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie pod kierunkiem dr hab. Moniki Kędry, prof. IO PAN i dr. Marca Silberbergera.

Przybrzeżne wody morskie należą do najbogatszych ekosystemów Wszechoceanu. W strefie litoralnej koncentruje się niespotykane gdzie indziej bogactwo organizmów żywych, będące efektem urozmaiconych warunków środowiskowych i topograficznych oraz wysokiej żyzności. Jednocześnie strefa brzegowa narażona jest w największym stopniu na negatywne skutki działalności człowieka, związane m.in. z eksploatacją zasobów morza, turystyką, transportem morskim i dopływem zanieczyszczeń. Silna presja antropogeniczna może być przyczyną istotnych zmian w strukturze i funkcjonowaniu ekosystemu, a w konsekwencji obniżenia jego walorów przyrodniczych i wartości ekonomicznej. Z tego powodu od wielu lat podejmowane są badania naukowe nad funkcjonowaniem ekosystemów przybrzeżnych, ich własnościami i podatnością na zmiany o charakterze lokalnym (np. eutrofizacja) i globalnym (np. zmiana klimatu, zakwaszenie).

Procesy zachodzące w ekosystemach morskich są nierozzerwalnie związane z przepływem energii i obiegiem materii, w których uczestniczą organizmy żywe. Kluczowe znaczenie dla strumieni energetycznych w obrębie biocenozy posiada transfer w układzie powiązań pokarmowych pomiędzy organizmami tworzącymi sieć troficzną. Struktura troficzna

i jej funkcjonowanie stanowią zatem najważniejsze atrybuty biocenozy, od których zależą podstawowe funkcje ekosystemu zarówno przyrodnicze takie jak zachowanie bioróżnorodności, jak i społeczno-gospodarcze np. produkcja żywych zasobów. W układzie przemian energetycznych i wymiany masy ważną rolę odgrywa materia organiczna, która powstaje w procesie produkcji pierwotnej i stanowi źródło pokarmu dla organizmów konsumenckich. Pochodzenie, własności fizyko-chemiczne i dostępność materii organicznej, zwłaszcza cząsteczkowej, w bezpośredni sposób wpływają zatem na zespoły faunistyczne (np. skład, liczebność i cechy funkcjonalne), szczególnie bentosowe. Zdefiniowanie znaczenia materii organicznej dla zbiorowisk fauny morskiej pozwala na lepsze zrozumienie zależności ekologicznych w danym akwenie i prognozowanie zmian tych zależności w świetle obserwowanych zjawisk środowiskowych takich jak wzrost temperatury wody czy nasilenie ekstremalnych zjawisk meteorologicznych. W tym kontekście tematykę rozprawy doktorskiej dotyczącą określenia roli materii organicznej w kształtowaniu różnorodności i struktury troficznej zespołów bentosowych w strefie przybrzeżnej południowego Morza Bałtyckiego uznaję za nowatorską, a podejmowane zagadnienia badawcze za aktualne i ciekawe. Wybór obszaru i przedmiotu badań dysertacji Pani mgr Marty Szczepanek uważam za trafny

Na podkreślenie zasługuje fakt, że praca wykonana została w ramach dwóch projektów badawczych finansowanych ze środków Narodowego Centrum Nauki, co świadczy o umiejętności współpracy Doktorantki w zespole naukowym. Wpływa również pozytywnie na jakość prowadzonych badań i pozwala postrzegać je w szerszej perspektywie.

### **Charakterystyka pracy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa stanowi zwarte opracowanie tematyczne, na które składają się dwa wieloautorskie oryginalne artykuły naukowe opublikowane w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym (z tzw. Listy Filadelfijskiej), *Ecological Indicators* (współczynnik oddziaływania,  $IF_{2021} = 6,3$ ) i *Frontiers in Marine Science* ( $IF_{2022} = 3,7$ ) oraz wieloautorski manuskrypt wysłany do czasopisma *Limnology and Oceanography*. Dysertacja liczy łącznie 150 stron. We wszystkich pracach Pani mgr Martyna Szczepanek pełni funkcję pierwszego i korespondencyjnego autora, a Jej udział w powstaniu opracowań jest dominujący i wynosi od 60% do 80%. Znaczący wkład Doktorantki jest w pełni uzasadniony, obejmuje pomysł hipotezy badawczej i ustalenie koncepcji pracy, zbiorów próbek środowiskowych, wykonanie analiz laboratoryjnych, opracowanie chemometryczne i statystyczne uzyskanych danych, interpretację wyników, przegląd literatury przedmiotu, redakcję tekstu oraz przygotowanie tabel i rycin.

Rozprawa została napisana w języku angielskim z obowiązkowym streszczeniem w języku polskim na początku. Redakcja tej części opierała się przypuszczalnie na bezpośrednim tłumaczeniu przez Doktorantkę tekstu anglojęzycznego, przez co wkrały się niefortunne i nieściśle sformułowania np.

- „w odpowiedzi na zmienność właściwości OM” - chodziło zapewne o odpowiedzi na zmiany/zmieniające się właściwości materii organicznej (str. 9);
- „materii organicznej osadzonej” (str. 9) - dotyczy raczej materii organicznej osadowej/zdeponowanej w osadach;
- „dno morskie jest zasilane .... przez sezonowe impulsy produkcji pierwotnej” (str. 10) - przez zwiększony dopływ materii organicznej;
- okresowa limitacja pokarmowa (str. 11) - czasowe ograniczenie dostępności pokarmu;
- „dopływ rzeczny źródeł allochtonicznych” (str. 11) – dopływ z wodami rzecznyymi materii organicznej pochodzenia allochtonicznego
- świeży pokarm (str. 11).

Układ rozdziałów stanowi logiczny ciąg i obejmuje Introduction, Main objectives, Conclusions, References oraz trzy oryginalne prace naukowe, po których zamieszczono oświadczenia współautorów o indywidualnym wkładzie w powstanie poszczególnych opracowań. W strukturze podziału treści brakuje charakterystyki materiału badawczego i metodyki oraz ogólnego opisu uzyskanych danych pomiarowych i analitycznych, które stanowią niezbędny element prac doświadczalnych. Wprawdzie informacje te zostały w szczegółowy sposób przedstawione w artykułach naukowych i manuskrypcie, ale warto by było zamieścić je również na początku rozprawy. Przedstawienie najważniejszych wyników i ich interpretacji w kontekście postawionych celów uzasadniałoby wnioski, które zostały sformułowane w osobnym rozdziale.

Pierwszy rozdział „**Introduction**” (siedem stron), w którym Doktorantka wprowadza do głównych zagadnień poruszanych w pracy tj. sprzężenia bentosowo-pelagicznego, zespołów bentosowych, zmiany klimatu i wykorzystaniu w badaniach ekologicznych analiz izotopowych, został napisany w sposób nieco zbyt syntetyczny. Poza ogólnym zarysem tematu wskazana by była obszerniejsza informacja, czy tematyka dotycząca określenia roli materii organicznej w kształtowaniu zespołów morskiej makrofauny bentosowej była do tej pory podejmowana w literaturze światowej. Moim zdaniem, więcej miejsca powinno być poświęcone omówieniu aktualnego stanu wiedzy i przedstawieniu najważniejszych teorii ekologicznych w zakresie będącym przedmiotem pracy. Wskazanie na brak tego typu opracowań empirycznych, zwłaszcza w obszarze Morza Bałtyckiego, stanowiłoby dobre uzasadnienie dla podjęcia badań i sformułowania celu pracy.

W rozdziale „**Main objectives**” (jedna strona) Dyplomantka przedstawiła ogólny cel pracy i trzy hipotezy badawcze, a ich weryfikację oparła o realizację czterech celów tematycznych. Wszystkie hipotezy zostały sformułowane w sposób ambitny i jasny ze wskazaniem autorskich opracowań, w których dana hipoteza podlegała weryfikacji. Z opisanej w artykułach naukowych i manuskrypcie metodyki zbioru materiału i wyników wnioskuję, że przedmiotem badań były zespoły fauny bentosowej o wielkości powyżej 0,5 mm, czyli makrofauny. Dla uniknięcia wątpliwości dotyczących zakresu wielkościowego analizowanych organizmów zwierzęcych warto by było doprecyzować ten aspekt w treści hipotez.

Rozdział „**Conclusions**” (dwie strony) poświęcony jest syntetycznej prezentacji wniosków. Jak zaznaczyłem powyżej, umieszczenie tego rozdziału bezpośrednio po prezentacji głównych hipotez badawczych i celów pracy, ale bez wcześniejszego przedstawienia części metodycznej, wynikowej i dyskusyjnej stawia czytelnika przed niełatwym wyzwaniem zapoznania się od razu z najważniejszymi osiągnięciami pracy bez możliwości poznania wyników. Taki układ wydaje się nieuzasadniony, a rozdział z wnioskami powinien zamykać pracę i być jej swoistym zwieńczeniem. Same wnioski zostały sformułowane z właściwą dozą ostrożności i w poprawny sposób weryfikują postawione w pracy hipotezy badawcze, znajdują pełne potwierdzenie w materiale faktograficznym. Za szczególnie wartościowe uważam udokumentowanie zmienności czasowej i przestrzennej właściwości i ilości cząsteczkowej materii organicznej pochodzenia allochtonicznego i autochtonicznego w strefie płytkowodnej południowego Morza Bałtyckiego. Doktorantka wykazała, że związane z tym zróżnicowanie jakości i dostępności pokarmu dla bentosowych konsumentów I rzędu w istotny sposób wpływa na strukturę i różnorodność zespołów makrofauny bentosowej dna miękkiego. Dostępność w danym siedlisku materii organicznej o różnych własnościach i pochodzeniu sprzyja rozwojowi bogatych gatunkowo oraz zróżnicowanych taksonomicznie i funkcjonalnie zespołów zwierząt reprezentujących różne gildie troficzne. Zbiorowiska makrobentosowe zasiedlające ubogie w materię organiczną siedliska cechują się niewielką liczbą taksonów, uproszczoną strukturą troficzną i podwyższoną konkurencją międzygatunkową o pokarm. W świetle obserwowanych zmian dostępności i własności materii organicznej związanych ekstremalnymi zjawiskami meteorologicznymi, wzrostem temperatury wody czy ograniczonym dopływem substancji odżywczych do strefy brzegowej Bałtyku, zaobserwowane w pracy zależności mogą być przydatne w prognozowaniu wieloletnich zmian zespołów makrofauny bentosowej i ich konsekwencji społeczno-ekonomicznych. Doktorantka w wyważony sposób określiła, w jaki sposób dysertacja uzupełnia istniejącą wiedzę i wytycza perspektywy dla przyszłych badań.

Rozdział „References” zawiera szczegółowy opis 74 źródeł bibliograficznych. Pozycje literaturowe odnoszą się w większości do artykułów w czasopismach naukowych i książek, wydanych w XXI wieku, co świadczy o dobrej znajomości przez Doktorantkę współczesnej literatury przedmiotu. Na uwagę zasługuje bardzo starannie przygotowany spis literatury, poza drobnymi uchybienia edytorskimi znalazłem tylko jedną pozycję (Bartels et al., 2018), która nie posiada odniesienia w tekście.

Kolejne trzy części rozprawy zawierają dwa opublikowane artykuły naukowe i manuskrypt, które dodatkowo zostały opatrzone tabelami z danymi uzupełniającymi. Choć w przypadku artykułów część naukowa została już poddana krytycznej ocenie, niektóre aspekty tych prac budzą moją szczególne zainteresowanie i wymagają dodatkowego wyjaśnienia.

W **pierwszym artykule** (Szczepanek M., Silberberger M.J., Kozirowska-Makuch K., Nobili E., Kędra M., 2021. The response of coastal macrobenthic food-web structure to seasonal and regional variability in organic matter properties. *Ecological Indicators* 132: 10832, doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108326) Autorzy przeprowadzili wnikliwą analizę zmienności sezonowej i przestrzennej wybranych właściwości cząsteczkowej materii organicznej i nisz izotopowych gildii troficznych makrofauny bentosowej. Badania środowiskowe przeprowadzono na dnie miękkim (osady piaszczyste i muliste) w czterech rejonach zlokalizowanych wzdłuż polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego i zróżnicowanych pod kątem struktury granulometrycznej osadów powierzchniowych, spływu lądowego, parametrów hydrologicznych i antropopresji. Uzyskane wyniki wskazały jednoznacznie na wyraźną zmienność czasową i geograficzną badanach parametrów, która związana jest z dopływem wód rzecznych, dynamiką rozwoju fitoplanktonu oraz wielkością ładunku substancji odżywczych. Wykorzystując wskaźniki izotopowe Laymana dla zbiorowisk zaobserwowano, że jakość i dostępność pokarmu wywiera bezpośredni wpływ na wielkość niszy izotopowej, którą interpretuje się jako wskaźnik zróżnicowania zasymilowanej materii organicznej. Zmienność sezonowa niszy jest szczególnie dobrze widoczna na dnie piaszczystym w otwartej części Bałtyku, gdzie na jakość materii organicznej dostępnej dla konsumentów bentosowych wpływają przede wszystkim okrzemkowe zakwity fitoplanktonu w okresie wiosennym. Praca wnosi cenne informacje o dynamice zmian materii organicznej i oddziaływaniu na strukturę troficzną makrofauny bentosowej. Stanowi ciekawy asumpt do kolejnej pracy badawczej nad wykorzystaniem materii organicznej pochodzenia rzecznoego przez konsumentów bentosowych, którą Doktorantka opisała w artykule drugim. Chciałbym zapytać o niektóre aspekty pracy:

- w płytkowodnych rejonach zatokowych (Zalew Szczeciński i Zatoka Pucka) potencjalnym źródłem pokarmu dla bezkręgowców może być mikrofitobentos oraz

roślinność makrobentosowa (makroglony i roślinność naczyniowa) i epifity. Czy ten materiał zbierano i poddawano analizie?

- poza Zalewem Szczecińskim, w każdej lokalizacji materiał do badań zbierano na kilku stanowiskach. Czy dane zaprezentowane w pracy odnoszą się do wartości średnich?

- Autorzy wskazują (rozdział 4.2.3), że większy zakres wartości stosunku izotopów trwałych węgla (tzw. CR) makrofauny bentosowej zasiedlającej otwartą część Bałtyku wynika z frakcjonowania troficznego. Jakie jest uzasadnienie dla takiej hipotezy?

**W drugim artykule** (Szczepanek M., Silberberger M.J., Kozirowska-Makuch K., Kędra M., 2022. Utilization of riverine organic matter by macrobenthic communities in a temperate prodelta. *Frontiers in Marine Science* 9, doi.org/10.3389/fmars.2022.974539) Autorzy przedstawili wyniki badań nad wykorzystaniem materii organicznej pochodzenia allochtonicznego i autochtonicznego przez makrofaunę bentosową w rejonie ujściowym Wisły. Na podstawie badań przeprowadzonych na trzech stanowiskach zlokalizowanych w pradeldzie Wisły dowiedziono, że materia organiczna wnoszona do Zatoki Gdańskiej z wodami rzecznyymi asymilowana jest przez konsumentów I rzędu w znaczącym stopniu stanowiąc nawet do 42% masy węgla wbudowanego w tkanki zwierząt. Stosując Bayesowskie modele mieszane wykazano, że udział materii allochtonicznej w diecie bezkręgowców bentosowych maleje wraz z głębokością i zależy od interakcji międzygatunkowych i preferencji pokarmowych poszczególnych taksonów. Taksony odżywiające się obligatoryjnie i fakultatywnie detrytusem osadowym cechowały się większym udziałem w diecie materii organicznej pochodzenia terygenicznego niż organizmy filtrujące zawiesinę. Przy podobnych parametrach hydrologicznych i strukturze granulometrycznej osadów, właściwości materii organicznej stanowią istotny czynnik wpływający na strukturę zespołów makrofauny bentosowej. W kontekście obserwowanych i prognozowanych zmian w dopływie materii z wodami Wisły, wyniki badań mogą być ważne dla wskazania potencjalnego kierunku zmian strukturalnych i funkcjonalnych w biocenozie bentosowej. W rozważaniach na temat rozptywu w rejonie ujściowym materii organicznej i jej znaczenia w kształtowaniu zespołów makrobentosowych strefy przybrzeżnej warto by było uwzględnić również oddziaływania hydrodynamiczne. Jaką rolę w rozmieszczeniu zawiesiny rzecznej ogrywiają prądy przydenne i procesy sortowania materiału zawiesinowego w rejonie ujściowym?

**W trzeciej pracy w formie manuskryptu** (Szczepanek M., Silberberger M.J., Kędra M., Functional diversity reflects the variability in isotopic diversity of coastal macrobenthic communities) Autorzy postawili sobie za cel określenie związku pomiędzy jakością i ilością materii organicznej a różnorodnością taksonomiczną i funkcjonalną zespołów makrofauny bentosowej. W pracy wykorzystano częściowo dane uzyskane we wcześniejszych badaniach

przeprowadzonych w dwóch obszarach dna miękkiego zlokalizowanych w rejonie ujściowym Wisły i w otwartej części Morza Bałtyckiego. Wybór obszarów badań, strategię zbioru materiału i metody analityczne uznaję za właściwe. W oparciu o szczegółową charakterystykę materii organicznej w zawiesinie i osadach dennych oraz analizę szeregu wskaźników różnorodności funkcjonalnej dowiedziono, że dostępność i właściwości materii organicznej w istotny sposób wpływają na cechy funkcjonalne zespołów bezkręgowców bentosowych. Sezonowa zmienność własności materii organicznej i stopnia refrakcji w strefie płytkowodnej sprzyja tworzeniu zbiorowisk o znacznej różnorodności funkcjonalnej. Cechują się one dużą liczbą taksonów o zróżnicowanych wymaganiach środowiskowych i interakcjach międzygatunkowych. Z wykorzystaniem zaawansowanych metod statystycznych (np. skalowanie wielowymiarowe, wielowymiarowe skalowanie metryczne) zaobserwowano, że w głębszej strefie, gdzie materia organiczna podlega mniejszej zmienności czasowej, rozwijają się zespoły o mniejszej różnorodności funkcjonalnej. Praca napisana jest w sposób przejrzysty i zrozumiały, wnosi nowe i cenne informacje o wpływie materii organicznej na różnorodność funkcjonalną, w tym troficzną, zbiorowisk makrofauny bentosowej. Po lekturze tekstu nie mam wątpliwości, że jest to wartościowe opracowanie, które zasługuje na opublikowanie w renomowanym czasopiśmie branżowym. W pracy warto by zamieścić szczegółowe wyjaśnienie zastosowanych wskaźników różnorodności funkcjonalnej (np. IDis i FDis). Z powodu ograniczeń technicznych metody zbioru materiału bentosowego (czerpak van Veena o powierzchni czerpanej  $0,1 \text{ m}^2$ ), badania obejmowały prawie wyłącznie taksony o znacznych rozmiarach i ograniczonej mobilności. Jaki wpływ na uzyskane dane i interpretację wyników (np. wielkość niszy izotopowej, różnorodność troficzną i funkcjonalną) miałyby włączenie do analiz mobilnej makrofauny?

## **Podsumowanie**

Rozprawa doktorska Pani mgr Marty Szczepanek jest oryginalnym i wartościowym pod względem merytorycznym opracowaniem naukowym, wnoszącym wiele ciekawych elementów poznawczych w obszarze funkcjonowania ekosystemów morskich. Podjęta tematyka ma charakter nowatorski i znakomicie wpisuje się we współczesne zagadnienia oceanograficzne. Temat dysertacji został zrealizowany z wykorzystaniem właściwie dobranego i przemyślanego aparatu badawczego, w tym zaawansowanych metod statystycznych, co umożliwiło zweryfikowanie wszystkich trzech hipotez badawczych. Warto podkreślić jest fakt, że dwie prace zostały już opublikowane w renomowanych czasopiśmie o międzynarodowym zasięgu, co potwierdza posiadanie przez Doktorantkę szerokiej wiedzy teoretycznej, odpowiednich kompetencji i doświadczenia w projektowaniu i realizacji badań naukowych.

Podsumowując, przedłożoną do recenzji pracę oceniam pozytywnie, a przedstawione uwagi mają w większości charakter dyskusyjny lub są natury edytorskiej.

### **Wniosek końcowy**

Uważam, że w świetle Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2013 r., recenzowana praca w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i zwracam się do Wysokiej Rady Naukowej Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie z wnioskiem o przyjęcie jej jako pracy doktorskiej i dopuszczenie Pani mgr Marty Szczepanek do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Z uwagi na wysoką jakość wszystkich opracowań wchodzących w skład rozprawy oraz znaczący wkład w rozwój wiedzy w zakresie zmienności i wykorzystania materii organicznej jako pokarmu dla makrofaunę bentosową oraz jej oddziaływania na strukturę i cechy funkcjonalne makrozoobentosu wnoszę formalny wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr Marty Szczepanek.



Gdynia, dn. 11.09.2023