

Gdańsk, 10.08.2018

Dr hab. Wojciech Tylmann, prof. nadzw.  
Pracownia Rekonstrukcji Zmian Środowiska  
Wydział Oceanografii i Geografii  
Uniwersytet Gdański

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Katarzyny Koziarowskiej  
pt. „Determination of the carbon, nitrogen and phosphorus burial rates in bottom  
sediments of two west Spitsbergen fjords (Hornsund and Kongsfjord)”**

Formalną podstawą przygotowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr Katarzyny Koziarowskiej pt. „Determination of the carbon, nitrogen and phosphorus burial rates in bottom sediments of two west Spitsbergen fjords (Hornsund and Kongsfjord)” jest decyzja Rady Naukowej Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie o wyborze recenzenta oraz związane z tym pismo (DS/1100/18) z prośbą o wykonanie recenzji.

**Uwagi ogólne**

Recenzowana rozprawa doktorska przygotowana została przez mgr Katarzynę Koziarowską pod kierunkiem promotora prof. dr hab. inż. Janusza Pempkowiaka oraz promotora pomocniczego dr Karola Kulińskiego. Rozprawa liczy łącznie 88 stron, w tym 83 strony właściwego tekstu, następnie oświadczenia współautorów o ich indywidualnym wkładzie jakościowym i procentowym w powstanie publikacji oraz podziękowania. Trzon rozprawy stanowi zbiór czterech, spójnych tematycznie artykułów naukowych:

1. Koziarowska K., Kuliński K., Pempkowiak J., 2016. *Sedimentary organic matter in two Spitsbergen fjords: terrestrial and marine contribution based on carbon and nitrogen contents and stable isotopes composition*. Continental Shelf Research 113: 38-46.
2. Koziarowska K., Kuliński K., Pempkowiak J., 2017. *Distribution and origin of inorganic and organic carbon in the sediments of Kongsfjorden, Northwest Spitsbergen, European Arctic*. Continental Shelf Research 150: 27-35.
3. Koziarowska K., Kuliński K., Pempkowiak J., 2018. *Comparison of the burial rate estimation methods of organic and inorganic carbon and quantification of carbon burial in two high Arctic fjords*. Oceanologia, DOI: 10.1016/j.oceano.2018.02.005.
4. Koziarowska K., Kuliński K., Pempkowiak J., 2018. *Deposition, return flux, and burial rates of nitrogen and phosphorus in the sediments of two high Arctic fjords*. Oceanologia, DOI: 10.1016/j.oceano.2018.05.001.

Czasopisma, w których zostały opublikowane powyższe artykuły, należą do liczących się w dyscyplinie uprawianej przez Doktorantkę (impact factor 1,94 i 1,61) i zostały właściwie

dobrane do tematyki przedstawianej w artykułach. Całość uzupełniają streszczenia w języku angielskim i polskim.

### **Ocena merytoryczna**

Osady zgromadzone na dnach mórz i oceanów powszechnie uważane są za niezwykle cenne archiwa środowiskowe. Dzięki izotopowym metodom datowania możliwe jest określenie skali czasowej dla badanych rdzeni osadów, co z kolei stwarza możliwość rekonstruowania zmian środowiskowych w różnych skalach czasowych, również w relatywnie krótkich okresach czasu liczonych w setkach, czy dziesiątkach lat. Tego typu badania w obszarach polarnych są szczególnie ważne w kontekście powszechnie obserwowanych zmian środowiska zachodzących w przyspieszonym tempie wskutek działalności człowieka. Wrażliwe i delikatne ekosystemy arktyczne szybko i w sposób najbardziej klarowny reagują na te zmiany. Przykładem są fiordy arktyczne, które podlegają przemianom z jednej strony związanym ze wzrastającą dostawą materiału lądowego wskutek topnienia i wycofywania się lodowców, a z drugiej ze zmianami produkcji pierwotnej spowodowanymi coraz krótszym okresem zalegania pokrywy lodowej. Należy się spodziewać, że dynamika tych zmian będzie rosła wraz z postępującą zmianą klimatu. Stąd też fiordy arktyczne stanowią bardzo dobry poligon badawczy do obserwowania zmian w obiegu biogeochemicznym pierwiastków o dużym znaczeniu dla funkcjonowania ekosystemów. W nurt ten wpisuje się doskonale recenzowana rozprawa doktorska.

Praca rozpoczyna się streszczeniem w języku angielskim i polskim. Około dziesięciostronicowy tekst przedstawia problem naukowy stawiany w pracy, definiuje cele pracy, precyzuje obszar badań i zastosowane metody, a także podsumowuje uzyskane wyniki. Główny cel rozprawy doktorskiej określony został dwojako. W pierwszym zdaniu jako „...poszerzenie wiedzy dotyczącej roli osadów w obiegu węgla, azotu i fosforu w fiordach położonych w wysokich szerokościach geograficznych”, natomiast zaraz potem jako „...określenie tempa zagrzebywania C, N i P i ocenę efektywności tego procesu...w osadach powierzchniowych dwóch fiordów położonych na Zachodnim Wybrzeżu Spitsbergenu...”. To drugie sformułowanie wydaje się o wiele bardziej odpowiednie jako cel pracy doktorskiej. Należy podkreślić, że problem postawiony w pracy jest aktualny i ma znaczenie globalne ze względu na rolę węgla we współcześnie obserwowanej globalnej zmianie klimatu. W tym względzie również azot i fosfor mają ogromne znaczenie z uwagi na ich rolę limitującą w procesie produkcji pierwotnej w środowisku wodnym. Ideę pracy i jej cel ocenić więc należy bardzo wysoko. Jako obiekty badań wybrano dwa fiordy – Hornsund i Kongsfiord. Charakteryzują się one różną morfologią, hydrologią, natężeniem produkcji pierwotnej, a także dopływem materiału lądowego ze zlewni. Ich porównanie powinno być więc cenne w kontekście możliwych uogólnień.

Do osiągnięcia zamierzonego celu konieczne było zrealizowanie kilku etapów pracy: (1) wyznaczenie pochodzenia materii organicznej i nieorganicznej w osadach; (2) określenie liniowej i masowej szybkości akumulacji osadów; (3) określenie stężenia C, N i P w osadach, wodzie porowej i wodzie naddennej; (4) obliczenie wielkości depozycji C, N i P; (5) obliczenie wielkości strumieni powrotnych C, N i P oraz (6) określenie tempa zagrzebywania C, N i P. Taki układ postępowania badawczego jest logiczny i odpowiada treściom przedstawionym w kolejnych artykułach.

W artykule pierwszym przedstawiono zmienność zawartości węgla organicznego, azotu organicznego oraz izotopów stabilnych  $^{13}\text{C}$  i  $^{15}\text{N}$  w kilku rdzeniach osadów pobranych z Horsundu i Adventfjordu. To pozwoliło na określenie pochodzenia materii organicznej zdeponowanej w badanych rdzeniach. Wskazano na istotne zróżnicowanie przestrzenne w obrębie fiordów (wraz ze wzrastającą odległością od lodowców) oraz pomiędzy nimi. Zidentyfikowano również zmiany właściwości materii organicznej wraz z głębokością tłumaczone zwiększoną depozycją w ostatnich kilkunastu latach lub procesami mineralizacji materii organicznej w osadach. Jednakże, najważniejsze w kontekście całej pracy doktorskiej było stwierdzenie, iż w obydwu badanych fiordach dominowała materia organiczna pochodzenia lądowego, która w przypadku Hornsundu stanowiła 69-75%, a w Zatoce Brepollen będącej pod silnym wpływem wód roztopowych nawet >80%.

Artykuł drugi zawiera wyniki zawartości oraz pochodzenia węgla organicznego i nieorganicznego w trzech rdzeniach osadów Konsfjordu, a także skład zawiesiny na różnych głębokościach w czterech lokalizacjach w obrębie tego fiordu. Analizowane rdzenie osadów wydutowane zostały metodą  $^{210}\text{Pb}$ , co dało zadawalające rezultaty i pozwoliło potwierdzić bardzo wysokie tempo sedymentacji w rdzeniu Kb3. Badania wykazały, że najwyższe zawartości węgla organicznego stwierdzono w zewnętrznej części fiordu, natomiast zawartość węgla nieorganicznego była zdecydowanie wyższa w części wewnętrznej, podlegającej bezpośrednim wpływom wód roztopowych z lodowców. Podobnie jak w artykule pierwszym stwierdzono również wyższe zawartości węgla organicznego i niższe nieorganicznego w osadach powierzchniowych względem osadów w spągach rdzeni. Określony w artykule skład zawiesiny traktować należy z ostrożnością, ponieważ jest to wynik jednorazowego pomiaru z lipca 2015, a zmienność sezonowa jest zapewne istotna. Trudno więc przyrównywać dane z zawiesiny do tych uzyskanych z rdzeni osadów. W kontekście pochodzenia węgla nieorganicznego zaproponowano autorską metodę polegającą na analizie wzajemnego stosunku zawartości węgla nieorganicznego i organicznego, co dało zaskakująco dobre rezultaty wyrażone w postaci niemal idealnej krzywej wykładniczej. To z kolei pozwoliło na oszacowanie ilości węgla nieorganicznego dostarczanego z lądu. Obliczenia te obciążone są pewnym mankamentem, a mianowicie polegają na założeniu że całość, albo przynajmniej zdecydowana większość, węgla organicznego w osadach jest pochodzenia autochtonicznego. Tymczasem udział tzw. „starego” węgla pochodzącego z erozji skał podłoża lodowców może być znaczący. Niemniej, wyniki przedstawione przez autorów prezentują się przekonująco i potwierdzone są dodatkowo różnymi charakterystykami stosunków Mg:Ca i Sr:Ca w węglanach pochodzenia biogenicznego i glacialnego.

Artykuł trzeci i czwarty są podobne w swej strukturze i dotyczą oszacowania tempa zagrzebywania (burial rates) odpowiednio węgla (artykuł trzeci) oraz azotu i fosforu (artykuł czwarty). Tempo zagrzebywania obliczone zostało jako różnica pomiędzy tempem akumulacji danego składnika w osadach i wielkością strumienia powrotnego. Słusznie zwrócono uwagę na fakt, że tempo zagrzebywania często utożsamiane jest z tempem akumulacji, co nie jest do końca słuszne. Pomimo problemów metodycznych z oszacowaniem wielkości strumienia powrotnego, należy tę składową uwzględnić. W pracy zastosowano trzy różne metody określania tempa zagrzebywania, które dały porównywalne wyniki. W przypadku węgla wykazano, że większa ilość materii organicznej akumulowana jest w Hornsundzie, gdzie również efektywność zagrzebywania jest większa. W przypadku

Kongsfjordu, tempo akumulacji materii organicznej jest niźsze, ale również efektywność zagrzebywania jest mniejsza przez co znaczna jej część ulega mineralizacji i przechodzi z powrotem do kolumny wody. Analogiczne obliczenia wykonano w artykule czwartym dla azotu i fosforu, z wykorzystaniem wielkości strumienia powrotnego. W przypadku nutrientów jest to szczególnie ważne, gdyż strumień powrotny, czyli tzw. zasilanie wewnętrzne, może w istotny sposób wpływać na intensywność produkcji pierwotnej. Uzyskano wyższe wartości tempa akumulacji analizowanych nutrientów w częściach wewnętrznych obu fiordów, gdzie stwierdzono również niźsze wartości strumienia powrotnego. W efekcie przeprowadzonych obliczeń tempo zagrzebywania okazało się wyższe w Hornsundzie niż w Kongsfjordzie. Przedstawiono również obliczenia szacujące roczny strumień powrotny z całej powierzchni osadów badanych fiordów. W tym przypadku wydaje się, że na podstawie zaledwie trzech punktów pomiarowych w każdym z fiordów istotność tych obliczeń jest znikoma. Dla przykładu, próby tego rodzaju szacunków dla jezior o wiele mniejszych powierzchniowo od badanych fiordów wymagają zazwyczaj analiz kilkudziesięciu rdzeni osadów.

W podsumowaniu zawartym w streszczeniu pracy wymienione zostały główne osiągnięcia całej pracy: (1) określenie tempa zagrzebywania węgla, azotu i fosforu w podpowierzchniowych osadach dwóch fiordów arktycznych; (2) uwzględnienie zarówno frakcji organicznej jak i nieorganicznej badanych składników; (3) innowacyjne podejście do określenia pochodzenia węgla, które pozwoliło na oddzielenie węglanów pochodzących z lądu od węglanów biogenicznych; (4) obliczenia wielkości strumieni powrotnych badanych składników. W sumie, uzyskane wyniki polepszyły wiedzę dotyczącą roli osadów w obiegu C, N i P w środowisku morskim.

### **Uwagi krytyczne i dyskusyjne**

Już na początku pracy pojawia się pewna nieścisłość. Zarówno w tytule pracy, w celu pracy, jak i w opisie obiektów badań mowa jest o dwóch fiordach, czyli o Hornsundzie i Kongsfjordzie. Jednakże wyniki badań przedstawione w artykułach dotyczą w istocie trzech fiordów: Hornsund, Kongsfjord i Adventfjord. Ten ostatni, chociaż wyniki jego badań przedstawione są w artykule pierwszym, jest pomijany w opisie ogólnych założeń pracy. Jaka jest więc jego rola w pracy doktorskiej?

Metodyka prowadzenia badań generalnie nie budzi wątpliwości. Jedynie metoda dzielenia rdzeni osadów na próbki bezpośrednio w terenie, choć bardzo wygodna, to jednak sprawia, że autorka pracy nie miała okazji przeanalizować wewnętrznej struktury rdzenia. To pozbawia możliwości interpretacji struktur sedymentacyjnych, które mogły być obecne w rdzeniach. Również interpretacja nagłych zmian składu osadu jest prostsza, gdy mamy do dyspozycji obraz całego rdzenia. Jednak zaznaczyć należy, że wyniki zawartości węgla, fosforu i azotu nie wykazują znacznej zmienności wraz z głębokością w rdzeniu, co uprawnia do stwierdzenia, że zasadniczych zmian litologicznych w rdzeniach raczej nie było.

W przypadku wyników datowania rdzeni również pojawiają się informacje dyskusyjne. Obecność  $^{137}\text{Cs}$  w danej próbce przyjmowana jest w pracy jako dowód, że osad został zdeponowany po 1950 roku. Jednakże, znana szeroko jest skłonność  $^{137}\text{Cs}$  do migracji w kolumnie osadu, co sprawia, że w wielu przypadkach stwierdzane były niewielkie aktywności cezu w osadach starszych od 1950 roku o kilkanaście, czy nawet kilkadziesiąt lat. Należałoby przynajmniej rozpatrzyć możliwość wystąpienia powyższego problemu w analizowanych

rdzeniach osadu. Ponadto, standardem w datowaniu  $^{210}\text{Pb}$  jest podawanie niepewności obliczonych dat, która niekiedy w głębiej położonych warstwach jest całkiem spora i wpływa w znaczący sposób na możliwości interpretacji zarejestrowanych w osadach zmian. W niniejszej pracy nie tylko nie ma informacji o niepewności obliczonego tempa akumulacji osadów, ale również nie są raportowane niepewności pomiarowe oznaczenia aktywności  $^{210}\text{Pb}$  w próbkach osadów.

Zwraca uwagę bardzo duży udział lądowej materii organicznej w badanych osadach, dla przykładu w Hornsundzie wyniósł 70-75%, a nawet >80%. Wiadomo, że znaczna część węgla transportowanego z obszarów lądowych to tzw. „stary” węgiel. Dla przykładu Kim i in. (2011, Large ancient organic matter contributions to Arctic marine sediments (Svalbard). *Limnol.Oceanogr.*, 54: 1463-1474) na podstawie badań biomarkerów i radiowęgla wskazują na znaczną ilość starego węgla w osadach Kongsfiordu (łącznie prawie 40%). Powstaje więc pytanie na ile zagrzebywanie węgla w osadach tych fiordów ma rzeczywiście znaczenie w kontekście problemu antropogenicznej emisji węgla do atmosfery i związanej z tym globalnej zmiany klimatu? Zagadnienie to nie zostało krytycznie przedyskutowane w artykułach, recenzent prosi więc o ustosunkowanie się Doktorantki do tego problemu.

Wyniki zawarte w niniejszej pracy nie są do końca zgodne z rezultatami badań przedstawionych przez Węślawskiego i in. (2017, Can seabirds modify carbon burial in fjords, *Oceanologia*, 59:603-611). Niezgodności dotyczą tempa akumulacji osadów w Hornsundzie i Kongsfjordzie, ale przede wszystkim procentowego udziału materii organicznej pochodzenia lądowego w osadach tych fiordów. Proszę Doktorantkę o ustosunkowanie się to powyższych rozbieżności.

Również metoda określania wielkości tzw. strumienia powrotnego polegająca na gradiencie stężeń rozpuszczonego węgla organicznego i nieorganicznego pomiędzy wodą porową i wodą naddenną może budzić pewne wątpliwości. Metoda ta zakłada stałość warunków w środowisku przydennym i opiera się na jednorazowych pomiarach. Czy wraz ze zmieniającymi się sezonowo warunkami oceanograficznymi można takie założenie przyjąć? Proszę o komentarz w kwestii możliwych sezonowych zmian dynamiki procesów wymiany na granicy osad-woda i ich ewentualnego znaczenia dla szacowania wielkości strumienia powrotnego.

Ostatnia uwaga odnosi się do układu pracy, który nie zawiera podsumowania i wniosków. Recenzent zdaje sobie sprawę, że nie istnieją konkretne przepisy określające w jaki sposób powinna wyglądać praca doktorska złożona z artykułów naukowych. Ze względu na fakt, iż każdy artykuł stanowi osobną całość, niezwykle ważne wydaje się przedstawienie problemu badawczego dla całego cyklu publikacji, a także sprecyzowanie wniosków płynących z całej pracy. W tym kontekście układ pracy zawierający wstęp, w dalszej kolejności artykuły naukowe wchodzące w skład rozprawy doktorskiej, a potem podsumowanie i wnioski wydaje się optymalny. W recenzowanej pracy zabrakło zwłaszcza należytego wyeksponowania wniosków płynących z całości cyklu publikacji.

## **Podsumowanie**

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących zawartości i pochodzenia węgla organicznego i nieorganicznego w osadach fiordów arktycznych, a także akumulacji fosforu i azotu. Szczegółowe badania doprowadziły do określenia tempa ich zagrzebywania, a także

wielkości strumieni powrotnych. Są to zagadnienia niezwykle ważne w kontekście zmian globalnych, a jednocześnie niedostatecznie zbadane. Autorka pracy podjęła się więc ambitnego zadania. Motywacja do podjęcia tematu, cel pracy oraz cały tok postępowania badawczego nie budzą najmniejszych zastrzeżeń. Przedstawienie wyników badań w postaci czterech artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach o międzynarodowym zasięgu z pewnością spełnia wszelkie wymagania stawiane pracom doktorskim i zasługuje na wysoką ocenę.

Do słabych stron pracy zaliczyć należy, poza nielicznymi błędami literowymi i niekonsekwentną pisownią nazw geograficznych, przede wszystkim brak należytego wyeksponowania wniosków płynących z całego cyklu publikacji.

Reasumując uważam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr Katarzyny Koziarowskiej stanowi oryginalny i wartościowy wkład naukowy do współczesnych badań oceanologicznych. Autorka pracy udowodniła swoje bardzo dobre rozeznanie literatury przedmiotu, potrafiła postawić problem naukowy, a także zaplanować i zrealizować jego rozwiązanie. Zawarte w recenzji uwagi krytyczne i dyskusyjne mają w zamierzeniu skłonić autorkę do dalszych badań tych niezwykle ciekawych i ważnych procesów. Uwagi te nie wpływają na ogólną bardzo pozytywną ocenę całej rozprawy.

W związku z powyższym, zgodnie z przepisami zawartymi w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. Ustaw RP nr 65 z dnia 16 kwietnia 2003 roku z późniejszymi zmianami), stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa spełnia wszystkie kryteria stawiane pracom doktorskim i wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie mgr Katarzyny Koziarowskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Wnoszę również o wyróżnienie niniejszej rozprawy doktorskiej. Przemawia za tym podjęcie niezwykle aktualnej i ważnej tematyki, logicznie zaplanowany proces badawczy i uzyskanie wyników o dużym znaczeniu. Również fakt opublikowania czterech artykułów w liczących się czasopismach na tym etapie kariery naukowej jest wart podkreślenia. Jak każda praca poruszająca ambitny problem, również i oceniana rozprawa generuje nowe pytania i zawiera elementy dyskusyjne, które przedstawiłem w recenzji. Jednakże, należy również ten fakt odbierać jako pozytywną stronę pracy.



/Wojciech Tylmann/