

**Zakład Chemii i Biochemii Morza  
INSTYTUT OCEANOLOGII  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

ul. Powstańców Warszawy 55,  
81-712 Sopot

tel. (48 58) 7311939  
fax (48 58) 551 21 30

dr hab. Ksenia Pazdro, prof. nadzw. IO PAN

Sopot, 17.05.2019

**RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej pani mgr Agnieszki Jędruch  
pt. „ACCUMULATION OF MERCURY IN THE MACROZOOBENTHIC FAUNA OF  
THE COASTAL ZONE OF THE GULF OF GDAŃSK”  
(w j. polskim “Kumulacja rtęci w organizmach makrozoobentosowych strefy brzegowej  
Zatoki Gdańskiej”)**

wykonanej w Zakładzie Chemii Morza i Ochrony Środowiska Morskiego Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego pod kierunkiem dr hab. Magdaleny Bełdowskiej, prof. nadzw. UG.

*Recenzja rozprawy doktorskiej została wykonana na wniosek Dyrektora Instytutu Oceanografii UG, dr hab. Mariusza Sapoty, prof.nadzw. UG ( pismo G200-6110-187/2019 z dnia 20 marca 2019 roku).*

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska wpisuje się w nurt poznania cykli biogeochemicznych pierwiastków i związków szkodliwych, co jest niezbędne do możliwie dokładnego poznania stanu zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego tymi substancjami oraz określenia wynikających stąd konsekwencji dla środowiska oraz zdrowia człowieka. Badania te nabierają szczególnego znaczenia w kontekście przewidywania tendencji przemian w obiegu substancji szkodliwych zachodzących pod wpływem zmian klimatycznych, zarówno w skali globalnej jak i lokalnej. Rtęć jest postrzegana jako jeden z najbardziej niebezpiecznych pierwiastków. Rtęć charakteryzuje się znaczną mobilnością środowiskową, podlega akumulacji przez organizmy, a silne negatywne oddziaływanie tego pierwiastka na procesy życiowe organizmów nie ulega wątpliwości. Pomimo wycofania lub znacznego ograniczenia stosowania środków zawierających związki rtęci w różnych dziedzinach działalności człowieka, zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego rtęcią wciąż jest

problemem globalnym. W przypadku ekosystemów wodnych konieczna jest identyfikacja wszystkich źródeł emisji zanieczyszczeń i określenie ładunków docierających do danego zbiornika z określonego źródła emisji jak również rozpoznanie zmienności czasowej i przestrzennej stężeń w poszczególnych elementach ekosystemu i czynników warunkujących tę zmienność.

Badania obiegu rtęci w ekosystemach morskich prowadzone są od wielu lat. W przypadku Bałtyku, a zwłaszcza jego południowej części, szczególne osiągnięcia w tym zakresie ma zespół, w którym Doktorantka realizowała swoje prace badawcze. Rtęć docierająca do Bałtyku w znacznym stopniu podlega akumulacji w strefie brzegowej i jest włączana do łańcucha troficznego i/lub ulega sedymentacji do osadów dennych, skąd może być powtórnie włączana do obiegu. Dostępne dane literaturowe wskazują, że emisja Hg w regionie Morza Bałtyckiego zmniejszyła się o kilkadziesiąt procent w porównaniu do lat 80-tych. Stało się to możliwe dzięki ograniczeniu celowego stosowania jej związków. Ponadto anomalnie wysokie temperatury powietrza i związane z tym zmniejszone zapotrzebowanie na ciepło skutkują zmniejszeniem udziału głównego źródła Hg w polskiej strefie brzegowej, jakim jest spalanie paliw kopalnych. Zmiany klimatyczne nie wpływają jednak tylko na zmniejszenie dopływu Hg do Bałtyku. Obserwowany w ostatnich latach wzrost intensywności ekstremalnych zjawisk przyrodniczych, w tym coraz częstsze i intensywniejsze opady oraz powodzie mogą przyczyniać się do reemisji i remobilizacji rtęci. Postępujące ocieplenie zwłaszcza w sezonie zimowym wpływa również na procesy zachodzące w biosferze, co również może oddziaływać na wymianę rtęci pomiędzy elementami abiotycznymi i biotycznymi. W konsekwencji, pomimo zmniejszania emisji rtęci do środowiska przyrodniczego, większy w skali roku ładunek metalu może być włączony do morskiego łańcucha troficznego. Wszystkie te zjawiska będą szczególnie widoczne i odczuwalne w strefie brzegowej. Wcześniejsze badania prowadzone w zespole, w którym Doktorantka realizowała swoją rozprawę wskazują, iż remobilizacja i odpływ Hg zachodzi z większości zlewni rzek uchodzących do Zatoki Gdańskiej. W badaniach bilansowania przepływu rtęci pomiędzy różnymi komponentami ekosystemu Zatoki Gdańskiej makrozoobentos do tej pory nie był uwzględniany w sposób kompleksowy. Podobnie jak w przypadku innych akwenów badania dotyczyły głównie organizmów z wyższych poziomów troficznych (m.in. Bełdowska i Falkowska, 2016; Falkowska i wsp., 2010) lub w ostatnim czasie fito, zooplanktonu i flory bentosowej (Bełdowska i Kobos, 2016; Bełdowska i Mudra-Cegiołka, 2017, Bełdowska i wsp. 2015). Tymczasem makrofauna bentosowa to istotny

element tego ekosystemu, stanowiący ważny składnik pokarmu wielu gatunków ryb, ptaków a także pośrednio człowieka.

W tym świetle program badawczy realizowany przez Doktorantkę, którego wyniki opisano w rozprawie pt „Kumulacja rtęci w organizmach makrozoobentosowych strefy brzegowej Zatoki Gdańskiej” należy uznać za nowatorski, kompleksowy i wypełniający lukę poznawczą w badaniach dotyczących kumulacji rtęci w biosferze Zatoki Gdańskiej.

Dysertacja, napisana w języku angielskim liczy 125 stron. Podstawę przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej stanowi spójny zbiór 4 artykułów opublikowanych w renomowanych czasopismach o wysokich współczynniku wpływu (Marine Pollution Bulletin (IF=3,10), Environmental Monitoring and Assessment (IF=1,80), Ecotoxicology and Environmental Safety (IF=4,00) i Talanta (IF=3,94)):

Mgr Agnieszka Jędruch we wszystkich pracach jest pierwszym i jednocześnie korespondencyjnym autorem, a jej wkład w powstanie tych publikacji wynosi od 65% do 80%, co wskazuje na wiodącą rolę doktorantki w prowadzeniu przedstawionych w rozprawie badań. Załączone do rozprawy oświadczenia wszystkich współautorów potwierdzają dominujący wkład Doktorantki w opracowanie koncepcji badań, wykonanie analiz, opracowanie danych, interpretację wyników oraz przygotowanie manuskryptów. Cykl publikacji poprzedzony jest 12 stronicowymi streszczeniami w języku angielskim i w języku polskim. Te zwięzłe i starannie przygotowane opracowania zawierają wprowadzenie do zagadnień poruszanych w rozprawie, cel i zakres prac, najistotniejsze uzyskane wyniki, wnioski wynikające z badań przedstawionych w załączonych publikacjach jak również sugestie co do przyszłych kierunków badań. Rozprawa zakończona jest spisem 58 aktualnych pozycji literaturowych wykorzystanych w przygotowaniu streszczeń. Do rozprawy dołączono jako załączniki - spis stosowanych skrótów i akronimów (Appendix A) oraz informacje o dorobku naukowym Autorki rozprawy (Appendix B).

Streszczenie świadczy o bardzo dobrej wiedzy teoretycznej w zakresie przedstawianej tematyki badań, a zakres prac badawczych, których wyniki przedstawiono w rozprawie jest naprawdę imponujący, można więc stwierdzić, że doktorantka podeszła do realizacji celów rozprawy w sposób kompleksowy i rzetelny. Dogłębna analiza dostępnych danych literaturowych pozwoliła Doktorantce wykazać zasadność planowanych badań oraz sformułować założenia i cele rozprawy oraz hipotezy badawcze. Doktorantka postawiła sobie za zadanie rozpoznanie czynników warunkujących zmienność stężenia rtęci w makrofaunie dennej strefy brzegowej Zatoki Gdańskiej jak również określenie roli organizmów

zoobentosowych w transferze rtęci do organizmów z wyższych poziomów troficznych. Na uwagę, zasługuje podjęcie się przez Doktorantkę oznaczenia w próbkach organizmów zwierzęcych 5 frakcji rtęci zróżnicowanych pod względem biodostępności. Efektywność procesów bioakumulacji i przenoszenia wzdłuż łańcucha troficznego w znacznym stopniu zależy od biodostępności substancji, a zatem od formy w jakiej występuje w środowisku. Wiedza dotycząca poszczególnych form rtęci w organizmach jest bardzo ograniczona (zazwyczaj dostępne wyniki badań dotyczą oznaczeń rtęci całkowitej).

Cel naukowy rozprawy został poprawnie i logicznie sprecyzowany. Prace eksperymentalne zostały przez Doktorantkę prawidłowo zaplanowane oraz wykonane w staranny sposób co pozwoliło na realizację założonych zadań. Wybrała dwie reprezentatywne stacje w rejonie Zatoki Puckiej, znacznie różniące się warunkami ekohydrodynamicznymi, a także znaczeniem spływu lądowego. Obie stacje badawcze charakteryzowały się bogactwem flory i fauny dennej, co umożliwiło zebranie materiału adekwatnego do zakładanych celów. Doktorantka nie ograniczyła się do analizy stężenia rtęci w organizmach makrozoobentosowych, ale podjęła trud przeanalizowania całego szeregu próbek abiotycznych i biotycznych. W sumie wykonała analizy stężenia rtęci całkowitej w ok. 1500 próbek (w tym ponad 400 to próbki makrozoobentosu) pobranych w latach 2011-2013 na wyżej wymienionych dwóch stacjach badawczych. Badania poszerzyła o kolejne próbki organizmów bentosowych pobranych w latach 2016-2017 na tych samych stacjach badawczych, w celu przetestowania możliwości wykorzystywania metody termo desorpcji (opracowanej wcześniej w zespole) do oznaczeń w organizmach zoobentosowych i rybach stężeń różnych form rtęci, w tym tych najbardziej biodostępnych. Nie mam wątpliwości, że zbiór wyników uzyskanych przez Doktorantkę stanowi bardzo rzetelną podstawę do wnioskowania i został umiejętnie wykorzystany przez doktorantkę w publikacjach. Uzyskane wyniki zostały omówione w sposób zwięzły w ramach streszczeń jak i w sposób rzeczowy i wyczerpujący w artykułach naukowych stanowiących podstawę rozprawy. Przeprowadzane badania pozwoliły Doktorantce na zrealizowanie założonych celów pracy i weryfikację postawionych przez doktorantkę hipotez.

Za najważniejsze osiągnięcia Doktorantki przedstawione w rozprawie, stanowiące jednocześnie element nowości naukowej uważam:

- zastosowanie po raz pierwszy, metody termodesorpcji do miarodajnej analizy udziału różnych form rtęci w organizmach zwierzęcych



- rozpoznanie czynników warunkujących czasową i przestrzenną zmienność stężenia rtęci w makrofaunie dennej Zatoki Gdańskiej i ich znaczenia w tym
  - wykazanie międzygatunkowego zróżnicowania stężenia rtęci całkowitej związanego ze sposobem odżywiania organizmów,
  - wykazanie zmienności czasowej stężenia Hg w faunie makrozoobentosowej związanego ze zmiennością stężenia Hg w pożywieniu, zmianami biomasy, zmiennością warunków środowiskowych oraz zróżnicowanym dopływem Hg z lądu,
  - potwierdzenie zjawiska biomagnifikacji rtęci w łańcuchu pokarmowym na obydwu stacjach badawczych zlokalizowanych w strefie brzegowej Zatoki Gdańskiej,
  - ilościowe oszacowanie tego zjawiska i wykazanie zróżnicowania przestrzennego,
  - wykazanie, że wraz ze wzrostem pozycji organizmów w piramidzie troficznej wzrastało nie tylko stężenie rtęci całkowitej w ich tkankach, ale także udział biodostępnych, labilnych form rtęci; ponad 90% rtęci w badanych organizmach makrozoobentosowych występowało w formie biodostępnej, przy czym dominujący udział miała rtęć występująca w połączeniach organicznych, w tym najbardziej niebezpieczna metylortęć.

W wyniku przeprowadzonych prac Doktorantka pozytywnie zweryfikowała hipotezę o istotnej roli makrofauny bentosowej w przekazywaniu rtęci organizmom z wyższych poziomów troficznych.

W trakcie lektury rozprawy nasunęło mi się kilka uwag i komentarzy, które przedstawiam poniżej. Artykuły składające się na rozprawę zostały już recenzowane przez recenzentów renomowanych czasopism. Opublikowanie wyników pracy wskazuje jednoznacznie, że podjęta problematyka, postawione pytania naukowe, zakres prac i sposób ich realizacji zostały przez środowisko naukowe ocenione jako poprawne i wartościowe naukowo, zatem odniosę się głównie do streszczenia przygotowanego przez Doktorantkę.

Do jednych ze znaczących osiągnięć Doktorantki zaliczam wykazanie przydatności metody termodesorpcji do oznaczeń stężeń form rtęci w organizmach bentosowych. W streszczeniu informacja o metodzie jest jednak dość ogólnikowa. Szersza i wyczerpująca informacja znajduje się oczywiście w artykule 4, który ukazał się drukiem w czasopiśmie Talanta. Uważam jednak, że syntetyczna informacja o parametrach walidacyjnych metody powinna znaleźć się w streszczeniu, tak aby czytelnik zapoznający się wyłącznie ze streszczeniem mógł ocenić, czy opracowana metoda jest miarodajna. Poprosiłabym również Doktorantkę o krótki komentarz dotyczący możliwości stosowania certyfikowanych materiałów odniesienia w przypadku tej metody.

W artykule opublikowanym w czasopiśmie *Environmental Monitoring and Assessment* („The role of benthic macrofauna in the trophic transfer of mercury in a low-diversity temperate coastal ecosystem”) Doktorantka przedstawiła wyniki obliczeń współczynnika podziału rtęci pomiędzy organizm i osad (tzw. BSAF; ang. biota sediment accumulation factor) i ich interpretację. Jest to jeszcze jeden z użytecznych parametrów stosowanych w szacowaniu ilościowym zjawiska akumulacji zanieczyszczeń w organizmach żyjących na dnie akwenu i oceny ryzyka środowiskowego. W streszczeniu nie znalazłam odniesień do tych wyników, dlatego poprosiłabym Doktorantkę o syntetyczną interpretację obliczonych wartości współczynnika BSAF w trakcie obrony. Przy okazji pozwolę sobie na praktyczną uwagę związaną z zamieszczaniem w opisach stosowanych wzorów obliczania współczynników akumulacji jednostek, w jakich wyrażane jest stężenie/zawartość substancji w organizmach/osadach. Autorzy artykułów stosują przeliczenie na suchą masę materiału, mokrą masę, normalizację na zawartość lipidów (w przypadku osadów normalizacja na zawartość materii organicznej lub węgla organicznego) itd., ale często nie podają tej informacji w artykule. Brak takiej informacji znacznie utrudnia porównanie wyników dostępnych w publikacjach czy też bazach danych. Autorka rozprawy niestety również nie do końca ustrzegła się tego niedociągnięcia.

Ciekawa jestem opinii doktorantki o roli procesów biokoncentracji czyli pobierania przez organizmy rtęci rozpuszczonej w wodzie w procesie akumulacji rtęci przez organizmy makrozoobentosowe?

Z recenzenckiego obowiązku wymienię poniżej kilka innych drobnych niedociągnięć, które zauważyłam:

- w streszczeniu zabrakło mi mapy z miejscami pobierania próbek (taką mapę można znaleźć dopiero w publikacji 2).

- na rysunku 1 zarówno w streszczeniu polskim jak i angielskim przedstawiono schematycznie badane elementy ekosystemu strefy brzegowej Zatoki Gdańskiej, tym niemniej autorka nie ustrzegła się „przejęzyczenia” utożsamiając wody porowe z zawiesiną na granicy osad/woda (FLSM) (tak to przynajmniej wynika z zapisu widniejącego na rysunku).

- na stronie 21 streszczenia polskiego w zdaniu „długość łańcucha pokarmowego została wzięta pod uwagę w przypadku współczynnika biomagnifikacji BMF obliczonego zgodnie z metoda Hobsona i Welcha (1992)”, cytowana pozycja nie zawiera jednak informacji o obliczaniu współczynnika BMF, dotyczy określania poziomów troficznych przy użyciu izotopów stałych węgla i azotu („Determination of trophic relationships within a high

Arctic marine food web using...”(ta sama uwaga dotyczy streszczenia angielskiego oraz cytowania w artykule 2).

Strona 22 - wniosek ii „najwyższym stężeniem oraz najwyższą biokoncentracją Hg cechowały się organizmy...”, zamiast określenia „biokoncentracja” powinno być użyte słowo „akumulacja” – biokoncentracja nie była szacowana (ta sama uwaga dotyczy streszczenia angielskiego).

Strony 22 i 23 podawana przez Autorkę różnica wartości współczynnika BMF obliczonego dla obydwu stacji badawczych”. jest niejednoznaczna (na stronie 22-30%, na str. 23 – 40%), podobnie w streszczeniu angielskim)

### **Podsumowanie**

Wymienione wyżej nieliczne uwagi nie obniżają wysokiej wartości merytorycznej przedstawionej mi do recenzji pracy doktorskiej. Koncepcja pracy jest prawidłowa a Doktorantka uzyskała nowatorskie wyniki, które zostały zaprezentowane w renomowanych czasopismach o wysokim współczynniku oddziaływania. Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska zawiera bardzo obszerny materiał doświadczalny, a Doktorantka wykazała się dużą wnikliwością w opracowaniu tak dużego zbioru uzyskanych danych, co świadczy o dojrzałości naukowej. Uzyskane przez Doktorantkę wyniki oceniam jako istotny wkład w poszerzenie wiedzy o obiegu rtęci w środowisku morskim.

Reasumując, po zapoznaniu się z całością pracy jestem w pełni przekonana, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa pani mgr Agnieszki Jędruch spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i określone w ustawie o stopniach i tytule naukowym (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r o stopniach i tytule naukowym z późn. zm.). Wnioskuje zatem do Rady Instytutu Oceanografii UG o dopuszczenie pani mgr Agnieszki Jędruch do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Z uwagi na obszerny zakres prac, wysoki poziom merytoryczny rozprawy, biegłość poruszania się Doktorantki w omawianej tematyce oraz opublikowanie wyników badań w renomowanych czasopismach o szerokim zasięgu międzynarodowym wnioskuje do Wysokiej Rady o rozważenie wyróżnienia przedstawionej mi do oceny rozprawy doktorskiej.



