

Prof. dr hab. inż. Barbara Gworek
Instytut Ochrony Środowiska-
Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Chemii Środowiska i Oceny Ryzyka
Warszawa

Warszawa 11.08.2025 r.

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr Ewy Korejwo

pt.:

„Mercury accumulation in organisms from polar regions”

wykonanej

w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk, Zakładzie Chemii i
Biochemii Morza

Promotor: **prof. dr hab. Jacek Beldowski**

Promotor pomocniczy: **dr hab. Dominika Saniewska** , prof.UG

1.Wprowadzenie

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo prof. dr hab. Moniki Kędry Przewodniczącej Rady Naukowej Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie, z dn. 09 czerwca 2025 r.

2.Formalna analiza rozprawy

Przedłożona do recenzji dysertacja doktorska mgr Ewy Korejwo ma formę opracowania, którego podstawę stanowi jednotematyczny cykl 3 publikacji poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim. Streszczenie zawiera wprowadzenie przedstawiające genezę tematu trzy hipotezy badawcze , cel pracy, obiekt badań wraz z metodami badawczymi, opis wyników badań oraz wnioski na 10 str. Układ opracowania jest zwarty, jednoznaczny i typowy dla prac doktorskich opracowywanych w oparciu o cykl publikacji.

Zgodnie z ustawą Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Art. 187 ust. 3) „rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej”. Doktorantka wybrała formę „zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych”. Dołączone są kopie publikacji naukowych wchodzących w zakres rozprawy doktorskiej oraz pisemne oświadczenia współautorów publikacji naukowych stanowiących rozprawę doktorską. Ponadto do publikacji tworzących cykl załączono materiały uzupełniające (Supplementary Materials), co umożliwia recenzentowi zapoznanie się z ważną częścią osiągnięcia Doktorantki.

Łączny IF czasopism, w których opublikowano te prace wynosi 26,6 i 500 pkt. MNiSW. Punktacja czasopism według MNiSW oraz Impact Factor nie mają bezpośredniego wpływu na merytoryczną ocenę publikacji stanowiących rozprawę doktorską, jednak są pewnym wyznacznikiem i gwarantem jakości publikacji.

Dobór czasopism, z punktu widzenia podjętej przez Doktorantkę problematyki badawczej, jest właściwy i zapewniający rzetelny proces recenzji o zasięgu międzynarodowym. W przypadku rozprawy doktorskiej opartej o współautorski cykl publikacji istotnym elementem recenzji jest ocena indywidualnego udziału Doktoranta w publikacjach stanowiących rozprawę.

Trzy publikacje z cyklu prac są pracami eksperymentalnymi, gdzie Doktorantka jest pierwszym autorem i korespondencyjnym. Ponadto we wszystkich pracach współautorem jest również promotor rozprawy prof. dr hab. Jacek Bełdowski. Zgodnie oświadczeniem Doktorantki była odpowiedzialna za badania, poczynając od pobierania próbek, analizy (w tym biologiczne i chemiczne), walidację oraz pisanie i edytowanie artykułu po recenzjach. Oświadczenie to jest spójne z informacjami o roli współautorów dołączonymi do każdego z artykułów. Należy więc uznać, że indywidualny wkład Doktorantki w prace wieloautorskie stanowiące przedmiot rozprawy doktorskiej spełnia kryteria określone w ustawie.

4.Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska ma charakter empiryczny i dotyczy badań poświęconych kompleksowemu zrozumieniu cyklu biogeochemicznego rtęci w regionach polarnych. Badania, z których uzyskano wyniki do opublikowanych prac były realizowane w ramach konkursów OPUS i PRELUDIUM oraz z działalności statutowej IO PAN. Wysoko oceniam decyzję Doktorantki o podjęciu innowacyjnego tematu o dużym znaczeniu naukowym i równocześnie wysokim poziomie skomplikowania metodologicznego

W skład cyklu wchodzi trzy doświadczalne publikacje opublikowane w latach 2022-2025:

I- Korejwo E., Saniewska D., Jędruch A., Zgrundo A., Bielecka L., Paneth P., Bałazy P., Bełdowski J., Saniewski M., 2025. Mercury, Methylmercury, and its Fractions at the Base of Trophic Pyramid of the Maritime Antarctic Ecosystem of Admiralty Bay. Journal of Hazardous Materials 492, 138268. doi:10.1016/j.hazmat.2025.138268

(IF-11,9 : 200 pkt – MNiSW)

II - Korejwo E., Panasiuk A., Wawrzynek-Borejko J., Jędruch A., Bełdowski J., Paturej A., Bełdowska M., 2025. Mercury concentrations in Antarctic zooplankton with a Focus on the krill species, *Euphausia superba*. Science of the Total Environment 905, 167239. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.167239

(IF-8,6 : 200 pkt – MNiSW)

III- Korejwo E., Saniewska D., Bełdowski J., Bałazy P., Saniewski M., 2022. Mercury concentrations and speciation in benthic organisms from Isfjorden, Svalbard. Marine Pollution Bulletin 184.114115. doi:10.1016/j.marpolbul.2022.114115

(IF-6,1: 100 pkt – MNiSW)

W streszczeniu rozprawy Doktorantka uzasadniła wybór problematyki badawczej związanej z globalnym zanieczyszczeniem środowiska rtęcią, która łatwo ulega biomagnifikacji i bioakumulacji w łańcuchu troficznym z uwzględnieniem jej chemicznych form występowania, jednocześnie podnosząc problem zagrożeń dla środowiska wynikającego z włączania Hg do łańcucha troficznego z uwzględnieniem zmian klimatu. W przypadku recenzowanej pracy sformułowane zostały trzy hipotezy badawcze, cel pracy, obiekt badań wraz z metodami badawczymi, opis wyników badań oraz wnioski na 10 str.

Sformułowane hipotezy badawcze:

- a). Topniejące lodowce stanowią dodatkowe źródło rtęci w ekosystemach polarnych, przyczyniając się do podwyższonego stężenia rtęci w organizmach morskich.
 - b). Pochodzenie materii organicznej pełni kluczową rolę w biodostępności związanej z nią rtęci w rejonach polarnych.
 - c). Organizmy zajmujące najniższe poziomy troficzne odgrywają kluczową rolę w transferze rtęci w ramach polarnej sieci troficznej a między gatunkowe różnice w poziomie akumulacji rtęci wynikają przede wszystkim z odmienności w zachowaniu i diecie tych organizmów.
- Nadrzędnym *celem pracy* było uzupełnienie wiedzy dotyczącej włączania rtęci do ekosystemów polarnych, w tym jej dystrybucji w organizmach z najniższych poziomów troficznych, określenie czynników środowiskowych na stężenie Hg, w tych organizmach oraz biomagnifikację Hg w polarnej sieci pokarmowej.

Weryfikacja hipotezy badawczych dokonana w artykule nr I dotyczyła ważnego i aktualnego problemu wpływu rtęci i metylortęci na antarktyczne ekosystemy morskie, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu wód roztopowych z lodowców na troficzne przemiany Hg w Zatoce Admiralicji. Jest to temat o dużym znaczeniu naukowym, środowiskowym i klimatycznym, zwłaszcza w kontekście przyspieszającego topnienia lodowców i zwiększonego dopływu zanieczyszczeń do oceanów polarnych. Temat ten dobrze wpisuje się w obecne potrzeby badawcze i wypełnia lukę w wiedzy dotyczącej cyklu Hg w środowiskach polarnych. Do osiągnięcia celu zastosowano szerokie spektrum metod analitycznych, w tym :

- pomiar całkowitej rtęci (THg) i metylortęci (MeHg) w wodzie, zawiesinie i mikropłanktonie -
- frakcjonowanie rtęci,
- analizę izotopową do określenia pozycjonowania troficznego.
- porównania przestrzenne (ujścia rzek, wnętrza zatoki, otwarty ocean).

Metody są opisane przejrzysto, dobrze uzasadnione i odpowiednio dobrane do celu badania. Metodyka jest silną stroną pracy. Frakcjonowanie Hg to dodatkowy atut. W artykule trafnie odniesiono się do procesów metylacji, bioakumulacji i wpływu zmian klimatycznych na mobilność rtęci. Omówiono możliwe drogi transferu Hg w ekosystemie z podkreśleniem znaczenia mikroorganizmów planktonowych, aczkolwiek dyskusja mogłaby być nieco rozszerzona o potencjalne skutki ekologiczne i ryzyko dla wyższych poziomów troficznych (zooplankton, ryby, ptaki).

W artykule nr II, nowatorskim podejściem jest skoncentrowanie się na krilu jako biomarkerze zanieczyszczenia rtęcią ekosystemów morskich Antarktyki a szeroki zakres danych dotyczących analizy różnych gatunków zooplanktonu, nie tylko kryla pozwala na porównania międzygatunkowe. Artykuł dostarcza pierwszych tak kompleksowych danych o stężeniach rtęci w zooplanktonie antarktycznym. Nowatorskie jest nie tylko skupienie się na gatunku stanowiącym fundament sieci troficznej w Oceanie Południowym, ale także zastosowanie analizy specjacyjnej rtęci (podział na metylortęć – MeHg, formy nieorganiczne oraz pozostałe frakcje). Dzięki temu autorzy mogli ocenić zarówno całkowite obciążenie rtęcią, jak i jej biodostępne i najbardziej toksyczne formy. Rola specjacji jest tu kluczowa – pozwala zidentyfikować, jaka część rtęci jest zdolna do bioakumulacji i biomagnifikacji w kolejnych poziomach troficznych. W ekosystemach takich jak antarktyczny, gdzie krótki sezon wegetacyjny i intensywne transfery energii sprzyjają szybkiemu przenoszeniu zanieczyszczeń w łańcuchach pokarmowych, wiedza o udziale MeHg w całkowitej rtęci jest niezbędna do oceny ryzyka dla ryb, ptaków i ssaków morskich. Autorzy wykazali zróżnicowanie udziału MeHg w zależności od gatunku i rejonu, co może wskazywać na odmienne źródła lub procesy transformacji rtęci w różnych mikrohabitatów Oceanu Południowego. Wyniki są istotne dla monitorowania globalnego obiegu rtęci, modelowania ryzyka zdrowotnego i ekologicznego oraz oceny wpływu zmian klimatycznych na dystrybucję Hg w środowisku polarnym. Przedstawione dane w artykule są ograniczone do jednego sezonu, zatem trudno ocenić wpływ zmian klimatu (konieczne są badania długoterminowe). Publikacja dostarcza rzetelnych danych bazowych nt. zanieczyszczenia Hg antarktycznego zooplanktonu i podkreśla rolę kryla jako potencjalnego wektora rtęci w ekosystemie. Stanowi dobrą podstawę do dalszych badań nad biomagnifikacją Hg w regionie Antarktyki.

Artykuł nr III wnosi istotny wkład do wiedzy na temat koncentracji i specjacji rtęci w organizmach bentosowych w jednym z kluczowych rejonów Arktyki – Isfjorden na Svalbardzie. Nowatorskie jest tu połączenie analizy całkowitej rtęci (THg) i metylortęci (MeHg) z oceną frakcji chemicznych rtęci w kontekście zróżnicowanych grup bentosu (np. małże, wieloszczety, skorupiaki). Takie podejście umożliwia nie tylko określenie poziomu zanieczyszczenia, ale również ocenę biodostępności i potencjalnego transferu troficznego. W badaniach uwzględniono różnice między siedliskami o odmiennych warunkach hydrodynamicznych i osadowych, co pozwoliło lepiej zrozumieć wpływ lokalnych uwarunkowań środowiskowych na bioakumulację rtęci. Nowością jest również zastosowanie analizy specjacyjnej w połączeniu z badaniami w ekosystemie arktycznym o silnym wpływie sezonowej pokrywy lodowej i topnienia lodowców. To podejście daje głębszy wgląd w procesy biogeochemiczne w rejonach wrażliwych na zmiany klimatu. Artykuł reprezentuje solidne

badania o istotnym znaczeniu dla monitoringu zanieczyszczeń metalami ciężkimi w Arktyce. Mimo wartości poznawczej, artykuł mógłby zostać wzmocniony poprzez: uzupełnienie o dane dotyczące zawartości rtęci w osadach i wodzie w tym samym czasie i miejscu, co umożliwiłoby pełniejszą analizę źródeł i dróg transportu oraz analizę izotopową rtęci w celu identyfikacji źródeł (np. dalekiego transportu atmosferycznego vs. lokalnych uwolnień z osadów).

Ponadto należy dodać, że w każdej publikacji :

- bardzo dokładnie przedstawiono metody badań wskazujące na perfekcyjnie zorganizowany warsztat badawczy; zamieszczone metody pozwalają także na stwierdzenie, że Autorka dysertacji operuje różnymi metodami analitycznymi (m.in. chromatografia gazowa sprzężona z atomową spektrofotometrią fluorescencyjną , masowy spektroskop izotopowy) i umiejętnie je łączy w celu uzyskania uzyskanie rzetelnych wyników,
- jest bardzo dobrze dobrana literatura (68 pozycji) , tym najnowsze pozycje głównie oryginalne prace twórcze.

Podsumowując powyższą recenzję stwierdzam, że Doktorantka osiągnęła założony, naukowy cel badań. Badania będą stanowiły cenne uzupełnienie stanu wiedzy w zakresie globalnego zanieczyszczeniem środowiska rtęcią, która łatwo ulega biomagnifikacji i bioakumulacji w łańcuchu troficznym z uwzględnieniem jej chemicznych form występowania.

Uwagi (dyskusyjne) zawarte w niniejszej recenzji nie umniejszają pozytywnej oceny całości pracy.

3.Wniosek o wyróżnienie rozprawy

Ze względu na wysoki poziom merytoryczny badań zaprezentowanych w pracy doktorskiej, trudny metodycznie warsztat badawczy i wyróżniające opracowanie uzyskanych wyników badań w postaci cyklu 3 bardzo dobrych prac naukowych opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych o wnioskuję o przyznanie Pani mgr Ewie Korejwo wyróżnienia za rozprawę doktorską pt. pt. „*Mercury accumulation in organisms from polar regions*”

4.Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska w postaci cyklu 3 publikacji naukowych jest oryginalnym opracowaniem aktualnego problemu naukowego poświęconego kompleksowemu zrozumieniu cyklu biogeochemicznego rtęci w regionach polarnych. Doktorantka w oparciu o zaawansowane techniki badawcze zaplanowała, wykonała i opublikowała wyniki badań o dużym znaczeniu dla nauki i praktyki. Reasumując powyższe stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca Pani mgr Ewy Korejwo pt. „*Mercury accumulation in organisms from polar regions* ” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim i odpowiada wymaganiom zgodnie z art. 187 Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (t. jedn. Dz. U. z 2023 r. poz. 742). Praca ta stanowi oryginalne rozwiązanie podjętego problemu

badawczego. Na tej podstawie wnioskuję do Wysokiej Rady Naukowej Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Prof. dr hab. inż. Barbara Gworek