

Poznań, 21.07.2025

Dr hab. Artur Kowalski, prof. UAM
Zakład Analityki Chemicznej i Środowiskowej
Wydział Chemii
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8
61-614 Poznań

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Bartłomieja Patryka Wilmana
„Bioaccumulation and transfer of mercury (Hg) in organisms from lower trophic levels
based on the case of clams and crabs from the Vistula Lagoon”.
(Bioakumulacja i transfer rtęci (Hg) w organizmach z niższych poziomów troficznych na
przykładzie małży i krabów z Zalewu Wiślanego)**

Niniejszą recenzję sporządziłem na podstawie decyzji Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Uniwersytetu Gdańskiego, która na posiedzeniu w dniu 16. 05.2025 r. powołała mnie na recenzenta.

Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Powierzona mi do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr Bartłomieja Patryka Wilmana została wykonana pod opieką naukową promotora prof. dr hab. Magdaleny Bełdowskiej z Wydziału Oceanografii i Geografii, oraz promotora pomocniczego dr hab. Agaty Rychter, prof. nadzw. z Instytutu Technologii Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Elblągu. Biorąc pod uwagę, że wszystkie publikacje zawarte w rozprawie zostały starannie opracowane, pozytywnie ocenione przez recenzentów w procesie publikacyjnym oraz opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych o międzynarodowym zasięgu, skoncentruję się na ocenie formalnej i merytorycznej samej rozprawy doktorskiej.

Ocena formalna

Oceniana dysertacja, w odróżnieniu od tradycyjnej rozprawy doktorskiej, ma formę cyklu czterech spójnych, tematycznie powiązanych publikacji naukowych, opublikowanych w renomowanych czasopismach. Praca została napisana w języku angielskim. W spisie treści

zawarto główne rozdziały, w tym m.in.: szczegółowy wykaz stosowanych skrótów (ułatwiający pracę recenzentowi), opis nowatorskiego aspektu rozprawy, słowa kluczowe, wymagane streszczenia w języku angielskim i polskim, a także pełne wersje czterech publikacji wraz z materiałami uzupełniającymi i oświadczeniami współautorów. Rozprawa liczy 152 strony i kończy się wykazem 67 cytowanych prac, z których większość stanowią najnowsze publikacje naukowe. Dobór literatury jest trafny i nie budzi zastrzeżeń. Całość zamyka podsumowanie dorobku naukowego Doktoranta, imponującego jak na jego młody wiek.

Rozprawa doktorska mgr Bartłomieja Wilmana została oparta na cyklu czterech publikacji naukowych opublikowanych w języku angielskim w czasopismach znajdujących się na liście JCR. Prace te ukazały się w latach 2023–2024 w czasopismach *Science of The Total Environment* oraz *Marine Pollution Bulletin*. Na podstawie danych przedstawionych przez Doktoranta, łączny współczynnik wpływu (Impact Factor) tych publikacji wynosi IF:24,1, natomiast suma punktów ministerialnych (MNiSW) to 500. Oba wskaźniki bibliometryczne należy uznać za bardzo wysokie. Wszystkie publikacje mają charakter wieloautorski, przy czym we wszystkich mgr Wilman figuruje jako pierwszy autor. Na podstawie dołączonych oświadczeń współautorów można jednoznacznie stwierdzić, że wkład Doktoranta w powstanie poszczególnych prac był wiodący.

Ocena merytoryczna

Przedstawione w rozprawie badania dotyczą obecności rtęci – pierwiastka o wyjątkowo toksycznym charakterze w środowisku wodnym, ze szczególnym uwzględnieniem migracji jej frakcji w organizmach małży i krabów. Rtęć, a zwłaszcza jej formy organiczne, głównie jon metylortęci, zaliczane są do najbardziej niebezpiecznych związków zdolnych do przemieszczania się w środowisku przyrodniczym. Jej obieg w przyrodzie ma charakter dynamiczny i złożony, ponieważ pierwiastek ten ulega ciągłym przemianom w różnych komponentach środowiska, takich jak powietrze, gleby, wody, osady dennie, rośliny oraz zwierzęta. Szczególne znaczenie mają procesy bioakumulacji i biomagnifikacji rtęci w sieciach troficznych, co sprawia, że stanowi ona poważne zagrożenie ekotoksykologiczne. Ze względu na swoją wysoką toksyczność oraz zdolność do długotrwałego oddziaływania na organizmy, rtęć od wielu lat pozostaje przedmiotem intensywnych badań, prowadzonych zarówno w krajowych, jak i międzynarodowych ośrodkach naukowych.

Podjęcie przez Doktoranta badań nad obiegiem i przemianami rtęci w organizmach bentosowych, takich jak kraby i małże, świadczy o jego dobrej orientacji w aktualnych wyzwaniach środowiskowych i naukowych. Autor trafnie identyfikuje lukę poznawczą

w zakresie bioakumulacji rtęci na poziomie organizmów żyjących w środowisku dennym - zagadnienia, które wciąż pozostaje niedostatecznie zbadane. Szczególnie ważne jest poznanie przemian i obiegu rtęci w organizmach niższych poziomów troficznych, które mogą stanowić potencjalne zagrożenie dla ssaków morskich, ptaków oraz ludzi. Tematyka rozprawy jest niezwykle aktualna, istotna i w pełni uzasadniona – zwłaszcza w kontekście identyfikacji dróg przenikania rtęci do organizmu człowieka oraz oceny ryzyka dla zdrowia publicznego.

Na wstępie dysertacji, Doktorant zdecydował się na przedstawienie sześciu nowatorskich aspektów swojej pracy. Takie podejście, choć niestandardowe, należy ocenić pozytywnie, ponieważ umożliwia recenzentowi już na początku pracy zapoznanie się z oryginalnym wkładem Autora w rozwój wiedzy dotyczącej bioakumulacji i transferu rtęci w organizmach bentosowych występujących w rejonie Zalewu Wiślanego.

Najistotniejszą merytorycznie częścią rozprawy doktorskiej – obok czterech załączonych publikacji – jest obszerne, 21-stronicowe streszczenie pracy, przygotowane zarówno w języku polskim, jak i angielskim. Rozdział ten pełni rolę przewodnika po całej rozprawie, stanowiąc jednocześnie rozbudowany komentarz do zamieszczonych w dalszej części, tematycznie spójnych publikacji.

W pierwszej części streszczenia Doktorant wprowadza czytelnika w zagadnienia badawcze, uzasadniając celowość podjęcia tematu w ramach rozprawy doktorskiej. Szczególny nacisk położono na problem niedostatecznej wiedzy dotyczącej zawartości, przemian oraz dróg migracji rtęci całkowitej i jej frakcji w organizmach należących do niższych poziomów troficznych.

Na podstawie wnikliwej analizy literatury przedmiotu oraz wcześniejszych badań własnych, Autor sformułował trzy hipotezy badawcze. W celu ich weryfikacji wyznaczył pięć głównych zadań badawczych, które zostały zrealizowane w ramach cyklu czterech publikacji naukowych. Zarówno sformułowane hipotezy, jak i wyznaczone cele pracy zostały przedstawione w sposób poprawny, przejrzysty i logiczny.

W kolejnej części „Streszczenia” Doktorant krótko scharakteryzował obszar badań, którym była polska część Zalewu Wiślanego. Uzasadnił wybór lokalizacji oraz punktów, z których pobierano próbki do dalszych analiz. Materiał badawczy stanowiły gatunki obce, takie jak: małże *Rangia cuneata* i *Dreissena polymorpha*, krab amerykański *Rhithropanopeus harrisi* oraz krab wełnistoszczypcy *Eriocheir sinensis*. Dodatkowo pobrano próbki: planktonu, wody naddennej oraz osadów dennych. Warto podkreślić, że na potrzeby badań łącznie pobrano i przygotowano imponującą liczbę ponad 3100 próbek analitycznych.

Pan mgr Bartłomiej Wilman, aby zrealizować postawione cele badawcze, zastosował do oznaczeń rtęci całkowitej oraz pięciu jej frakcji technikę analityczną – atomową

spektrometrię absorpcyjną z desorpcją termiczną (AAS), wykorzystując analizator DMA-80 (Milestone, Włochy). Kluczowym elementem zapewniającym poprawność i wiarygodność uzyskanych wyników była staranna kontrola jakości zastosowanej metody. W tym celu Doktorant używał odpowiedniej liczby certyfikowanych materiałów odniesienia o zróżnicowanej matrycy. Na każdym etapie prac – od pobrania próbek aż po analizy laboratoryjne – zwracano szczególną uwagę na minimalizację ryzyka zanieczyszczeń oraz zachowanie wysokiej jakości i powtarzalności wyników, co miało kluczowe znaczenie dla rzetelności całego procesu badawczego.

W dalszej części rozdziału, Autor przechodzi do omówienia wyników badań, które zostały szczegółowo zaprezentowane w poszczególnych publikacjach stanowiących integralną część rozprawy doktorskiej. Pomimo dużej liczby uzyskanych danych empirycznych, Doktorant wykazał się znakomitą umiejętnością ich usystematyzowania, klarownego przedstawienia oraz dogłębnej interpretacji. Wyniki zostały przeanalizowane w sposób logiczny i spójny, z uwzględnieniem zarówno specyfiki zastosowanej metodyki badawczej, jak i różnorodnych aspektów biologicznych, chemicznych oraz środowiskowych.

Szczególnie warto podkreślić umiejętne odniesienie uzyskanych wyników do dostępnych, najnowszych danych literaturowych. Całość tej części pracy cechuje się wysokim poziomem merytorycznym, poprawnością językową oraz interesującą, klarowną narracją, co czyni ją przystępną zarówno dla specjalistów, jak i dla szerszego grona odbiorców zainteresowanych problematyką zanieczyszczeń środowiska wodnego Zalewu Wiślanego.

W końcowej części „Streszczenia” Pan mgr Bartłomiej Wilman przedstawił podsumowanie swoich badań. Przeprowadzone analizy pozwoliły na pełną weryfikację tylko jednej z trzech hipotez badawczych; pozostałe dwie zostały potwierdzone jedynie częściowo. Rozdział zamyka szczegółowe omówienie dalszych perspektyw badawczych, które wskazują na możliwości kontynuacji i pogłębienia poruszanej problematyki.

Na końcu rozprawy Doktorant zamieścił, jak na swój młody wiek, imponujący dorobek naukowy, który świadczy o dużym potencjale badawczym oraz zaangażowaniu w rozwój nauki. Warto również podkreślić, że Autor aktywnie uczestniczył w realizacji projektów badawczych finansowanych z grantów krajowych i uczelnianych, co potwierdza jego zdolność do pozyskiwania środków na prowadzenie zaawansowanych badań. Jego publikacje oraz udział w konferencjach naukowych świadczą o umiejętności samodzielnego prowadzenia badań na wysokim poziomie oraz skutecznego komunikowania wyników środowisku naukowemu. Ten dorobek stanowi solidną podstawę do dalszego rozwoju kariery naukowej oraz aktywnego wkładu w poszerzanie wiedzy z zakresu ekologii i toksykologii środowiskowej.

Na podstawie lektury rozprawy doktorskiej mgr Bartłomieja Wilmana mogę stwierdzić, że zarówno bardzo dobrze dobrany materiał badawczy, jak i szczegółowa wnikliwa analiza wyników stanowią istotny i cenny wkład w rozwój obecnego stanu wiedzy. Praca wnosi wyraźny element nowości naukowej w zakresie badań nad migracją i bioakumulacją różnych frakcji rtęci w organizmach wodnych, na przykładzie małży i krabów.

Za najważniejsze i najbardziej wartościowe osiągnięcia rozprawy uważam:

1. **Określenie frakcji rtęci trafiających do organizmów skorupiaków i mięczaków** – wraz z pokarmem i wodą – oraz sposobu ich bioakumulacji w tkankach miękkich i twardych. Transfer rtęci z tkanek miękkich małży do struktur mineralnych okazał się skutecznym mechanizmem detoksykacji.
2. **Zbadanie zawartości frakcji rtęci w narządach wewnętrznych krabów *Eriocheir sinensis*** – z uwzględnieniem różnic wynikających z płci, wieku oraz parametrów biometrycznych. Samce wykazywały wyższe stężenia rtęci, co wiązało się z odmienną dietą i pozycją troficzną. Wykazano, że detoksykacja odbywa się m.in. poprzez transfer rtęci z mięśni i wątroby do pancerza.
3. **Wykazanie sezonowych zmian zawartości rtęci u kraba *Rhithropanopeus harrisi***. Wyższa temperatura wody stymuluje przenoszenie rtęci do tkanek twardych i sprzyja jej eliminacji z organizmu, co prowadzi do zmniejszenia toksyczności.
4. **Określenie mechanizmów akumulacji i detoksykacji rtęci u gatunków inwazyjnych**, takich jak *Dreissena polymorpha* i *Eriocheir sinensis*. Ze względu na rosnącą obecność tych organizmów w południowym Bałtyku, stają się one ważnym ogniwem w łańcuchu pokarmowym, a ich zdolność do retencji i neutralizacji rtęci może wpływać na ograniczenie obciążenia ekosystemu tym toksycznym pierwiastkiem.

Większych zastrzeżeń do pracy nie mam, pojawiają się różne małe błędy edytorskie, czy stosowanie sformułowań tj.: „stężenie rtęci w tkankach miękkich” zamiast zawartość, „wyższe” lub „niższe stężenie” zamiast większa lub mniejsza zawartość. Choć poprawność tych zwrotów może budzić pewne wątpliwości i jest dyskusyjne - nie są to kwestie, które istotnie wpływają na merytoryczną wartość pracy ani wymagają szczegółowej analizy na etapie oceny rozprawy.

Podczas szczegółowej lektury pracy pojawiło się jednak kilka pytań i wątpliwości:

1. Na czym dokładnie polegała „modyfikacja metody frakcjonowania rtęci, wskutek której nomenklatura dla poszczególnych frakcji dla różnych matryc została znormalizowana”

(streszczenie, s. 36)? Czy to była modyfikacja np., czasu, temperatury sorpcji i desorpcji rtęci w analizatorze?

2. W badaniach zastosował Pan wiele certyfikowanych materiałów odniesienia o zróżnicowanej matrycy, odpowiednio dobranych do specyfiki analiz – m.in. tkanka małża (IAEA-452 i SRM-2976), gleba (NCSDC 87103), białko ryby (DORM-4), wątroba ryby (DOLT-5). W dwóch pierwszych publikacjach pojawił się jednak mniej typowy materiał: liście herbaty (INCT-TL-1). Dlaczego zdecydował się Pan na jego zastosowanie?
3. W badaniach oznaczał Pan pięć frakcji rtęci. Do frakcji HgF2 zalicza się m.in. najbardziej toksyczną formę – jon metylortęci (MeHg). Czy planuje Pan w przyszłości poszerzyć zakres badań właśnie o tę formę rtęci i jej bezpośrednie oznaczenia?

Podsumowanie

Podsumowując, uważam, że rozprawa nie budzi żadnych zastrzeżeń merytorycznych. Tytuł pracy jest w pełni zgodny z zakresem i treścią przeprowadzonych badań. Język rozprawy wskazuje na solidne przygotowanie autora oraz bardzo dobrą znajomość tematyki, w tym umiejętność analizy i interpretacji danych. Pojawiające się nieliczne uchybienia edytorskie nie wpływają na wartość merytoryczną pracy i nie obniżają jej jakości. Cele badawcze zostały konsekwentnie zrealizowane, a wszystkie etapy badań przeprowadzono starannie i rzetelnie, co zapewnia wysoki poziom naukowy rozprawy. W mojej ocenie praca zawiera liczne elementy nowości i wnosi istotny wkład w poszerzenie wiedzy na temat obiegu rtęci w organizmach niższych poziomów troficznych, ze szczególnym uwzględnieniem krabów i małży.

Po zapoznaniu się z całością rozprawy stwierdzam, że praca mgr Bartłomieja Patryka Wilmana spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1688 z późn. zm.) i w związku z tym wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Uniwersytetu Gdańskiego o dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie stawiam wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgra Bartłomieja Wilmana.