

Toruń, 22 lipca 2025

Prof. dr hab. Jarosław Kobak
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
Wydział Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych
Katedra Zoologii Bezkręgowców i Parazytologii
ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń
jkob73@umk.pl, +56 611 2647

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Bartłomieja Wilmana
„Bioakumulacja i transfer rtęci (Hg) w organizmach z niższych poziomów troficznych
na przykładzie małży i krabów z Zalewu Wiślanego” (promotor: prof. dr hab.
Magdalena Beldowska, Uniwersytet Gdański, promotor pomocniczy: dr Agata Rychter,
Akademia Nauk Stosowanych w Elblągu)**

Niniejsza recenzja sporządzona została na podstawie dokumentacji otrzymanej przeze mnie 29 maja 2025 r. z Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego (Gdynia), w związku z wyznaczeniem mnie przez Radę Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku UG do pełnienia funkcji recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. Bartłomieja Wilmana. Recenzję wykonałem na podstawie dostarczonych mi materiałów:

- Kopii czterech artykułów wchodzących w skład **Rozprawy**;
- Streszczeń **Rozprawy** w języku polskim i angielskim;
- Oświadczeń wszystkich Autorów o ich udziale w poszczególnych artykułach składających się na **Rozprawę**.

Recenzowana **Rozprawa** składa się z czterech artykułów naukowych opublikowanych w latach 2023-2024 w czasopismach umieszczonych w bazie Journal Citation Reports:

Artykuł #1: Wilman, B., Beldowska, M., Rychter, A., Kornijów, R. 2023. Different pathways of accumulation and elimination of neurotoxicant Hg and its forms in the clam Atlantic rangia (*Rangia cuneata*). Science of The Total Environment, 858, 160018. doi: 10.1016/j.scitotenv-.2022.160018.

IF: 8,2, pkt MNiSW/MEiN: 200

Artykuł #2: Wilman, B., Beldowska, M., Rychter, A., Popławska, A. 2023. Factors determining bioaccumulation of neurotoxicant Hg in the zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): influence of biometric parameters, sex and storage of shell. Marine Pollution Bulletin, 197, 115718. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115718.

IF: 5,3, pkt MNiSW/MEiN: 100

Artykuł #3: Wilman, B., Normant-Saremba, M., Rychter, A., Beldowska, M. 2024. Total body burden of neurotoxicant Hg in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) Considerations of distribution and human risk assessment. Marine Pollution Bulletin, 199, 116028. doi: 10.1016/j.marpolbul.2024.116028.

IF: 5,3, pkt MNiSW/MEiN: 100

Artykuł #4: Wilman, B., Beldowska, M., Rychter, A., Popławska, A. 2024. Impact of biometric parameters and seasonal condition on mercury (Hg) distribution in Harris mud crab (*Rhithropanopeus harrisi*) body. Marine Pollution Bulletin, 209, 117118. doi: 10.1016/j.marpolbul.2024.117118.

IF: 5,3, pkt MNiSW/MEiN: 100

W dalszej części recenzji odnoszę się do poszczególnych artykułów za pomocą powyższej numeracji.

Artykuły opatrzone są odpowiednimi oświadczeniami współautorów (łącznie z samym Doktorantem), informującymi o ich wkładzie merytorycznym w przeprowadzone badania. Ponadto, wkład Doktoranta jasno wynika z informacji zawartych w samych artykułach. We wszystkich pracach jest On pierwszym autorem i z całą pewnością można powiedzieć, że miał wiodący udział w badaniach stanowiących podstawę ocenianej **Rozprawy**, angażując się w zaplanowanie i przeprowadzenie badań, analizę danych oraz interpretację uzyskanych wyników. **Rozprawa** jest zaopatrzona w 23-stronnicowe omówienia w języku polskim i angielskim, nazwane **Streszczeniem/Summary**. Przedstawiają one szczegółowy opis zbioru przedstawionych do oceny artykułów, zawierający ogólny wstęp z tłem teoretycznym tematyki badawczej, omówienie celów badań i hipotez, zarys metodyki, główne wyniki i wnioski, a także sugestie dalszych badań. Omówienie to ukazuje także powiązania między poszczególnymi artykułami i łączy je w spójny cykl tematyczny.

Artykuły wchodzące w skład **Rozprawy** dotyczą akumulacji rtęci w bałtyckich bezkręgowcach: małżach – *Rangia cuneata* (**Artykuł #1**) i racicznica zmienna (*Dreissena polymorpha*) (**Artykuł #2**), oraz krabach – krab wełnistoreki (*Eriocheir sinensis*) (**Artykuł #3**) i krabik amerykański (*Rithropanopeus harrisi*) (**Artykuł #4**). Wszystkie prace oparte są o jednolitą metodykę poboru prób (z uwzględnieniem specyfiki poszczególnych gatunków), analizy chemicznej materiału biologicznego oraz analizy statystycznej danych. Dzięki temu, uzyskane wyniki są w pełni porównywalne, umożliwiając uogólnienia i wyciąganie łącznych wniosków opierających się na całym cyklu artykułów. Czynniki, których potencjalny wpływ na akumulację rtęci w badanych organizmach był testowany, to: (i) zmienność czasowa (pory roku i/lub zmienność wieloletnia), (ii) zmienność przestrzenna (stanowiska w obrębie Zalewu Wiślanego), (iii) płeć osobników, (iv) rozmiar/wiek osobników, (v) rozmieszczenie metalu w różnych częściach ciała (w tym podział na tkanki miękkie i muszlę małży/szkielet zewnętrzny skorupiaków), (vi) kondycja fizyczna osobników. Autorzy uwzględnili również różne frakcje rtęci w badanych organizmach i różnych elementach środowiska (osady dno, plankton, zawiesina). W związku z tym nie ulega wątpliwości, że przedstawione do oceny artykuły stanowią spójny tematycznie i jednolity cykl prac, zgodny z wymogami stawianymi rozprawom doktorskim.

Rtęć jest metalem ciężkim obecnym w środowisku naturalnym za sprawą zanieczyszczeń antropogenicznych, niepełniącym żadnej pozytywnej roli w organizmach żywych. Wszystkie jej formy stanowią groźne toksyny o działaniu neurologicznym, zagrażające organizmom

żywym (w tym człowiekowi) i całym ekosystemom. Jej wpływ jest tym groźniejszy, że może ulegać akumulacji w ciałach żywych organizmów, co zwiększa jej stężenie z wiekiem organizmów i w kolejnych poziomach troficznych. W związku z tym, bardzo wysoko cenię tematykę badań podjętych przez zespół Autorów z wiodącą rolą Doktoranta. Dzięki systematycznemu podejściu do tematu, zdołali wypełnić istotną lukę w naukowej wiedzy o akumulacji rtęci przez morskie bezkręgowce, w tym o roli tego typu zanieczyszczenia w funkcjonowaniu ekosystemu Morza Bałtyckiego.

Do najważniejszych osiągnięć recenzowanej **Rozprawy** zaliczam:

1. Określenie poziomu akumulacji rtęci w badanych organizmach żyjących w Bałtyku, co pozwala na oszacowanie ryzyka użycia ich bezpośrednio jako pokarmu człowieka (krab wełnistoreki) lub włączenia ich do sieci troficznych jako pokarmu ryb o znaczeniu komercyjnym. W szczególności, chodzi tu o bezkręgowce wodne z niższych poziomów troficznych, których rola w akumulacji i transferze rtęci do organizmów drapieżników wykorzystywanych bezpośrednio przez człowieka była jak dotąd słabo zbadana.
2. Określenie miejsc akumulacji rtęci w badanych organizmach (różne narządy i tkanki), co w jeszcze większym stopniu umożliwi oszacowanie ryzyka wynikającego z ich roli w sieci troficznej.
3. Wykazanie roli muszli małży i szkieletu zewnętrznego skorupiaków jako ważnych miejsc akumulacji rtęci w stabilnej formie, niezagrażającej organizmom żywym (swoistej formy detoksykacji).
4. Wykazanie znaczenia wysiłku reprodukcyjnego (produkcja i uwalnianie gamet) dla usuwania rtęci zakumulowanej w organizmach.
5. Wskazanie źródeł dostawiania się rtęci do badanych organizmów.
6. Poznanie dodatkowego aspektu roli obcych gatunków w funkcjonowaniu ekosystemu Bałtyku. Paradoksalnie okazuje się, że z punktu widzenia akumulacji toksycznej rtęci w organizmach z wyższych poziomów troficznych, ekspansja tych obcych gatunków, stanowiących potencjalne źródło pokarmu dla drapieżników wyższego rzędu, może mieć pozytywny efekt środowiskowy.

Powyższe osiągnięcia sprawiają, że przedstawiona do oceny **Rozprawa** stanowi bardzo cenny wkład w światową naukę, a także przyczynia się do zrozumienia funkcjonowania ważnego lokalnie ekosystemu Morza Bałtyckiego. Uzyskane wyniki pokazują, jak mięczaki i skorupiaki funkcjonują w warunkach zanieczyszczenia środowiska metalem ciężkim obecnym w środowisku za sprawą człowieka.

Do mocnych stron **Rozprawy** należą:

1. Właściwy wybór modelu eksperymentalnego. Są to organizmy mające bardzo ważny udział w sieci troficznej Bałtyku, bezpośrednio powiązane z gatunkami o znaczeniu komercyjnym (ryby), a niekiedy również bezpośrednio wykorzystywane w celach kulinarnych (choć nie bezpośrednio na terenie objętym badaniami). Małże jako filtratory, odżywiające się przez zawieszoną odfiltrowywaną z toni wodnej, są bardzo podatne na akumulację wszelkich zanieczyszczeń obecnych w wodzie i/lub resuspendowanych osadach dennych. Kraby z

kolei, jako wszystkożercy/drapieżniki zajmujące wyższe (ale nie najwyższe) poziomy troficzne, również mogą akumulować duże ilości zanieczyszczeń i przekazywać je żerującym na nich drapieżnym rybom. Ponadto, wszystkie badane organizmy to gatunki obce w Europie, o różnym czasie introdukcji i różnym, czasami nie do końca jeszcze rozpoznanym, wpływie na środowisko. Niektóre z nich znajdują się wciąż w fazie ekspansji i powiększają swoje zasięgi w Europie, w tym w Bałtyku. W związku z tym, cykl prac Doktoranta może przyczynić się do lepszego rozpoznania wpływu obcych organizmów na lokalny ekosystem, oraz do prognozowania zmian zachodzących w tym ekosystemie pod wpływem ich dalszej ekspansji.

2. Spójne podejście do opracowywanego tematu: ustalona, jednolita metodyka i ten sam teren badań, co pozwoliło na uzyskanie porównywalnych wyników.
3. Wieloaspektowe podejście do tematu: podział form rtęci na poszczególne frakcje, różniące się trwałością, toksycznością i pochodzeniem, zbadanie ich występowania w różnych gatunkach, w różnych częściach ciała organizmów, w osobnikach w różnym wieku, różnej płci i w różnych porach roku.

Moim obowiązkiem jako recenzenta jest również wskazanie dyskusyjnych stron ocenianej **Rozprawy**, od których żaden tekst nie jest wolny. Podczas lektury artykułów wchodzących w skład **Rozprawy**, zauważyłem kilka dyskusyjnych (albo po prostu mniej dla mnie zrozumiałych) fragmentów i spraw wymagających wyjaśnienia. Opublikowane artykuły podlegały już recenzjom wydawniczym i edycji przez redakcje czasopism, co zwykle sprawia, że prace są wolne od większości uchybień i błędów technicznych spotykanych w pracach na etapie maszynopisu. Tym niemniej, muszę zauważyć że, o ile powyższe stwierdzenie jest prawdziwe w odniesieniu do trzech artykułów opublikowanych w Marine Pollution Bulletin, to niestety poziom techniczny pracy z Science of the Total Environment pozostawia znacznie więcej do życzenia i dość rażąco odbiega od wysokiej wartości uzyskanych wyników. Poniżej przedstawiam listę szczegółowych komentarzy do poszczególnych części recenzowanej **Rozprawy**:

Uwagi ogólne do artykułów wchodzących w skład Rozprawy

1. Rtęć jako przyczyna choroby Parkinsona, Alzheimerera i autyzmu. Takie stwierdzenie znajduje się we wstępach **Artykułów #1 i #3**. Nie jestem specjalistą w dziedzinie nauk medycznych, jednak, z tego, co mi wiadomo, aktualny stan wiedzy na ten temat, konsensus uznawany przez społeczność naukową, jest inny. Przyczyny wymienionych chorób i zaburzeń nie są ustalone. Wiadomo, że decydują tu czynniki genetyczne i środowiskowe, jednak co do szczegółów, istnieją na razie tylko przypuszczenia i hipotezy wymagające potwierdzenia. Nie można więc sugerować, jak to czynią Autorzy, że wpływ rtęci jest tu wykazany przez literaturę naukową. Tym bardziej, że w **Artykule #1** twierdzenie to jest oparte na literaturze sprzed 52 i 23 lat, a praca Dikme et al. (2013), cytowana w **Artykule #3**, wykazuje brak zależności między poziomem rtęci w organizmie i występowaniem autyzmu. Wydawać by się mogło, że jest to drobiazg niezwiązany z główną tematyką **Rozprawy**. Jednak taki brak dbałości o wsparcie przedstawianych twierdzeń

- wiarygodnymi i aktualnymi cytowaniami jest potencjalnie bardzo niebezpieczny, gdyż przyczynia się do szerzenia niesprawdzonych informacji w literaturze naukowej.
2. W **Artykułach #1-2** znajdują się bardzo podobne opisy pobierania prób tła – osadów dennych, zawiesiny i planktonu. Konsekwentnie brakuje jednak informacji o wielkości tych prób i ich liczbie. Jakim narzędziem pobierane były osady?
 3. Analiza danych:
 - a. We wszystkich artykułach znajduje się bardzo podobny, jeśli nie identyczny, opis zastosowanych metod analizy danych. Jest on jednak moim zdaniem niewystarczający. Autorzy wymieniają po prostu zastosowane testy statystyczne, bez wskazania, co konkretnie było porównywane którą metodą, jakie konkretnie grupy i części zestawów danych były analizowane, oraz ile było tych analiz. O tym dowiadujemy się dopiero z wyników, ale też nie do końca. Trudno mi było na przykład ustalić, jakie korelacje były liczone w każdej pracy, dlaczego właśnie te, które zostały wymienione w tekście, i czy tylko te (np. – czy część nieistotnych wyników została pominięta?). Szczegóły metodyczne przeprowadzenia analizy głównych składowych i analizy skupień z **Artykułów #1-3** nie są w ogóle opisane w częściach metodycznych. Zdecydowanie oczekiwałbym dokładniejszych opisów przeprowadzonych analiz, ze szczegółami: kolejno, co, po co i w jaki sposób było ze sobą porównywane.
 - b. Test Manna-Whitney'a służy do porównania dwóch grup danych, tymczasem w niektórych przypadkach jest wskazany jako metoda zastosowana do porównywania wielu kategorii (np. **Artykuł #1**, Fig. 5 – 3 pory roku, Fig. SVI – 8 klas wielkości)
 - c. Czy, i jeśli tak, to w jaki sposób, uwzględniony został brak niezależności niektórych grup osobników? Chodzi mi o to, że osobniki zebrane w tym samym terminie albo na tym samym stanowisku mogły wspólnie podlegać działaniu poszczególnych czynników. Na przykład, małże zebrane wiosną mogły być w naturalny sposób mniejsze niż latem (co wynika z ich fenologii) i jednocześnie mieć różną ekspozycję na rtęć (wynikającą z jej zróżnicowanej dostępności w środowisku). W tej sytuacji, prosta korelacja między rozmiarami małży i stężeniem rtęci wykazałaby zależność (co zresztą faktycznie miało miejsce), ale, tak naprawdę, czynnikiem determinującym akumulację rtęci byłaby pora roku, a nie rozmiar osobników. Podobne zależności mogą dotyczyć innych zmiennych, np. wskaźnika kondycji. W celu uwzględnienia takich wieloczynnikowych zależności i interakcji, potrzebne byłyby bardziej skomplikowane modele, np. uwzględniające termin poboru próby, stanowisko i rozmiar/kondycję jako zmienną towarzyszącą. Autorzy wyjaśniają, że stosowali uproszczone metody nieparametryczne ze względu na brak zgodności danych z rozkładem normalnym, jednak powstaje pytanie: czy próbowali transformacji danych albo uogólnionych modeli liniowych, które mogą opierać się na innych rozkładach danych niż normalne? Rozwiązaniem mogłoby również być policzenie korelacji osobno dla każdej grupy osobników – być może zresztą tak to zostało zrobione, jednak w niektórych przypadkach trudno mi było zorientować się w zakresie danych, dla których poszczególne korelacje były wyznaczane.
 - d. We wszystkich pracach pojawia się sformułowanie: „confidence interval of at least 95%”. Dlaczego „co najmniej”? Przedziały ufności wyznacza się dla konkretnych wartości prawdopodobieństwa, np. 95% albo 99% - jak było tutaj? Inna sprawa, że

tych przedziałów ufności nie widzę nigdzie w tekście ani na rysunkach, co zresztą nie dziwi o tyle, że stosowane były głównie testy nieparametryczne.

- e. We wszystkich pracach pojawia się sformułowanie: „differences between Hg and biometric parameters”, które w tej dosłownej postaci nie ma sensu. Czy chodzi o zależności („relationships”/”correlations”, itp.)? Jeśli tak, to dlaczego ten zwrot pojawia się w niezmienionej postaci we wszystkich artykułach?
- f. We wszystkich artykułach pojawia się wskaźnik kondycji liczony według wzoru zawierającego w liczniku suchą masę ciała, a w mianowniku wymiar liniowy podniesiony do sześcienu. Generalnie uważam, że jest to prosta, ale dobra miara kondycji, opierająca się na założeniu, że jeśli dwa osobniki mają tę samą wielkość, to cięższy z nich jest w lepszej kondycji fizycznej. Jednak problem pojawia się, jeśli chcemy w ten sposób porównać kondycję osobników o różnych rozmiarach i/lub w różnym wieku, co Autorzy robią w swoich pracach. Po pierwsze, organizmy rosną allometrycznie – czyli zmieniają się proporcje ich ciał, np. racicznica zmienna z wiekiem staje się relatywnie coraz niższa i szersza w stosunku do długości. Tak więc, sześcienn długości ciała (albo szerokości karapaksu u krabów) z mianownika wzoru będzie oznaczał coś innego dla osobników o różnych rozmiarach. Różnice w allometrii wzrostu mogą też mieć miejsce między stanowiskami, co tym bardziej utrudnia takie porównania. Po drugie, osobniki mogą wraz z wiekiem naturalnie zmieniać skład swojego ciała (np. zwiększać lub zmniejszać udział białek czy lipidów), co wpływa na ich gęstość, a więc na licznik wzoru na wskaźnik kondycji. Mielibyśmy tu do czynienia z sytuacją analogiczną do stosowanego dla ludzi wskaźnika BMI, za pomocą którego nie możemy porównywać dzieci z dorosłymi, a wytrenowani sportowcy osiągają wartości sugerujące otyłość u ludzi w zwykłej formie fizycznej. Podsumowując, porównywanie kondycji fizycznej osobników w różnym wieku należałoby potraktować z dużą ostrożnością.
- g. Autorzy zmierzili mokrą masę całego osobnika, a potem osobno masę muszli i tkanek (u małży, dla skorupiaków nie ma takiej informacji). Która z tych wartości została użyta do obliczenia uwodnienia tkanek? Jest to istotne, gdyż pomiar mokrej masy u całych małży jest obarczony błędem wynikającym z obecności wody w jamie płaszczowej. Podobny skutek może powodować komora skrzelowa pod karapaksem skorupiaków. Poza tym: jaki był cel wyznaczenia tego parametru? Nie widzę nigdzie jego zastosowania w analizach czy interpretacji wyników.
- h. Analiza głównych składowych (PCA), zastosowana w **Artykułach #1 i #2**. Brakuje opisu metody (można ją wykonywać z różnymi opcjami) i zmiennych użytych do analizy. W jaki sposób wprowadzony został do analizy czynnik jakościowy (pora roku)? Poza tym, warto zauważyć, że analiza ta służy tylko do poszukiwania skorelowanych ze sobą zestawów zmiennych, a nie zależności przyczynowo-skutkowych czy mechanizmów badanych zjawisk, jak to bywa przedstawione w dyskusji wyników.
- i. We wszystkich artykułach wyznaczone są klasy wielkości badanych organizmów. Powstaje pytanie: po co? Dlaczego, skoro wszystkie osobniki są dokładnie zmierzone, nie skorzystać z danych o wyższej rozdzielczości i wprowadzić do analizy bezpośrednio te miary wielkości? Szczególnie, że liczebności niektórych klas są

bardzo małe (zwłaszcza w przypadku krabów z **Artykułów #3** i **#4** oraz muszli racicznicy z **Artykułu #2**), więc porównania między klasami mogą dawać dość wątpliwe wyniki. Zamieniając rozmiary w postaci zmiennych ciągłych na klasy wielkości, niepotrzebnie tracimy część informacji w zbiorze danych. Co więcej, w niektórych przypadkach Autorzy jednak uwzględniają w części analiz (korelacje), miary wielkości, np. długość ciała, szerokość karapaksu krabów, albo masę. Od czego to zależy?

4. Niektóre rysunki wyglądają, jak gdyby zostały skopiowane bezpośrednio z programu statystycznego, bez edycji domyślnych opcji programu czy opisów danych. Z tego powodu są dość trudne do zrozumienia. Niedociągnięcia wymienione poniżej są szczególnie nagromadzone w **Artykule #1**, jednak część z nich dotyczy też pozostałych artykułów (przypominam, że mówimy o publikacjach w międzynarodowych czasopismach w języku angielskim):
 - a. Opisy są częściowo po polsku (np. w legendach pojawiają się wpisy „odstające” czy „ekstremalne”), są też w nich powtarzające się literówki (np. „outlires” zamiast „outliers”).
 - b. Na osi pionowej (Y) i w wynikach testów (przedstawionych bezpośrednio na wykresach) pojawiają się liczby z przecinkiem dziesiętnym zamiast kropki.
 - c. Nawiasem mówiąc, rysunek nie jest najszcześniejszą lokalizacją dla wyników testów statystycznych, lepiej byłoby je umieścić w tekście lub w tabeli, jeśli porównań było dużo.
 - d. Panele składające się na złożone rysunki mają niekiedy różne rozmiary i różne czcionki, co sprawia wrażenie braku porządku.
 - e. Niepotrzebnie wykresy słupkowe prezentowane są w wersji trójwymiarowej – zmniejsza to ich czytelność, nie dając w zamian żadnych korzyści.
 - f. Na wykresach słupkowych brakuje miar rozrzutu. Skoro wyniki opierają się na pomiarach wielu osobników, takie miary powinny być dostępne i zwiększyłyby czytelność rysunków.
 - g. Na części wykresów pojawiają się linie pokazujące trendy liniowe (zmiany w czasie, wraz z wielkością osobników, lub przestrzenne), które są dyskutowane w tekście. Jednak brak miar rozrzutu dla takich linii uniemożliwia ocenę, na ile te trendy są istotne i jak silne.
 - h. W niektórych przypadkach (np. Fig. 4 w **Artykule #2**) wykres przedstawia kilka grup danych (np. różne frakcje rtęci), ale wynik testu statystycznego jest tylko jeden. Dlaczego, i co taki wynik oznacza?
 - i. Zestawy korelacji między różnymi frakcjami rtęci w różnych częściach ciała (Tabela 2 w **Artykule #1** i Tabela 3 w **Artykule #4**). Na jakiej podstawie wybierane były pary zmiennych do liczenia tych korelacji? O ile rozumiem korelacje między tymi samymi frakcjami z różnych części ciała, albo różnymi frakcjami z tej samej części ciała, to jaki był sens liczenia tego „na krzyż” (np. między frakcją 1 w muszli a frakcją 3 w tkance)?
 - j. Chciałbym zwrócić uwagę, że różne pory pojedynczego roku to zbyt krótki okres, by mówić o tendencjach sezonowych. Do tego potrzebujemy kilku lat, na przebiegu których badamy poszczególne pory roku. Dobrze to widać w tych przypadkach, w

których Autorzy badali dwie wiosny z dwóch kolejnych lat – wyniki dla nich uzyskane różnią się od siebie w znaczącym stopniu. Tak więc, wnioskowanie na temat różnic między porami roku (np. wiosna vs lato, lato vs jesień) musi tu być bardzo ostrożne, nawet jeśli jest oparte na logicznych podstawach. Innymi słowy – kiedy stwierdzamy różnicę między pojedynczą wiosną i jesienią, to nie możemy być pewni, czy różnica ta jest faktycznie spowodowana porą roku, czy też jest przypadkowa i w kolejnym roku nie będzie inna lub zniknie całkowicie.

5. Autorzy wskazują na kilka możliwych mechanizmów kształtujących zawartość rtęci w badanych organizmach: (i) akumulacja, (ii) detoksykacja, (iii) „rozcieńczenie” poprzez wzrost ciała, (iv) przesuwanie między tkankami miękkimi a muszlą lub kutikulą. Wszystkie te zjawiska są wskazane w tekście, jednak na podstawie wykonanych analiz trudno jest powiedzieć, które z nich mają większe lub mniejsze znaczenie. Do tego potrzebne byłyby dokładniejsze oznaczenia np. poziomu i aktywności metalotionein i/lub enzymów biorących udział w detoksykacji. Korelacje w zawartości rtęci między różnymi częściami ciała to trochę za mało – należy pamiętać, że wskazują one tylko na koincydencję dwóch zjawisk, a nie na ich związek przyczynowo-skutkowy. To nic złego, zaprezentowane wyniki są bardzo wartościowe, jednak w takiej sytuacji lepiej nie podawać wyjaśnienia mechanizmów krążenia rtęci w organizmach jako jednego z głównych celów pracy (a potem dyskutować je tylko na podstawie spekulacji opartych na przypuszczeniach i literaturze) (np. we wstępie **Artykułu #2**: „The scientific aim was to study the processes of accumulation and detoxification of Hg”).
6. Układ, w którym wyniki pomieszczone są w jednym rozdziale z dyskusją, nie jest moim zdaniem najszcześniejszy. Chociaż jest on dopuszczalny w przypadku bardzo prostych i krótkich prac, to nie rozumiem, dlaczego redaktorzy czasopism pozwolili na takie podejście przy prezentacji tak złożonych i wielowątkowych wyników, jak w artykułach składających się na recenzowaną **Rozprawę**. Najdziwniejszy jest przypadek **Artykułu #2**, w którym formalnie istnieją osobne rozdziały Results i Discussion, jednak w pierwszym z nich znajdują się obszerne części dyskusji, a w drugim zaprezentowanych jest dużo nowych wyników. Być może to tylko moja osobista preferencja, jednak przy takiej formie trudno jest śledzić powiązania między wynikami i wszystkie zależności, kiedy poznajemy pierwsze wnioski, zanim zapoznaliśmy się ze wszystkimi wynikami. Na przykład, w **Artykule #3**, na str. 4 czytamy, że poziom rtęci nie różni się między samcami i samicami krabów wełnistorękich, co jest uzasadnione podobną dietą obu płci i potem dyskutowane w świetle danych literaturowych. Jednak następnie, na str. 7, okazuje się, że nie jest to cała prawda, bo, jeśli spojrzymy na poziomy różnych frakcji rtęci w różnych częściach ciała, to różnice między płciami jednak są. I Autorzy tłumaczą je różnymi preferencjami pokarmowymi samców i samic... W tym momencie staje się to zrozumiałe, ale po co było wcześniej wprowadzać informację, która nie jest pełna? Podobnie, w **Artykule #1**, jednym z głównych wniosków w Podsumowaniu (Conclusions) jest istotna rola muszli w detoksykacji miękkich tkanek małży (str 10). Tymczasem wcześniej, na str 8, czytamy: „Therefore, the shell does not play an important role in the transfer and detoxification of the bivalve organism from toxic Hg”. To tylko przykłady sposobu prowadzenia dyskusji, który sprawia, że bywa ona skomplikowana ponad miarę, nieco chaotyczna i trudna do zrozumienia. Po przeczytaniu **Streszczenia** dołączonego do **Rozprawy** żałuję, że w treści

artykułów (np. w formie materiałów uzupełniających online) nie znalazły się znakomite grafiki ze **Streszczenia**, które w bardzo przejrzysty sposób podsumowują kluczowe wyniki opublikowanych prac i ułatwiają zrozumienie ich konkluzji.

7. Kwestie językowe:

- a. Autorzy używają terminów „clam” i „mussel” jako synonimów na określenie racicznicy i *R. cuneata*. Nie jest to poprawne, gdyż te terminy są używane na określenie konkretnych typów morfologicznych małży – racicznica to „mussel”, a *R. cuneata* to „clam”. Ogólnym słowem określającym małża w języku angielskim jest „bivalve”.
- b. Czy muszlę lub szkielet zewnętrzny stawonogów możemy nazywać terminem „hard tissue”? Wiem, że takie określenie pojawia się w literaturze (jako przeciwieństwo „soft tissue” – tkanek miękkich), ale tkanka to struktura złożona z komórek, podczas gdy muszla i kutikula to wydzieliny pozakomórkowe.

Uwagi do Streszczenia Rozprawy dołączonego do artykułów

Co do zasady, w przypadku rozprawy doktorskiej składającej się z cyklu opublikowanych artykułów, skupiam się głównie na treści tych artykułów, traktując dodatkowo załączone **Streszczenie** jako przewodnik po opublikowanych pracach, a nie osobną część dzieła. Tym niemniej, skoro bardzo obszerne **Streszczenie** pojawia się jako element **Rozprawy**, to mam również kilka uwag do tej części dostarczonych mi materiałów:

1. W **Streszczeniu Rozprawy** sformułowane są trzy ogólne hipotezy dotyczące wszystkich czterech prac. Co ciekawe, hipotez nie ma bezpośrednio w opublikowanych artykułach (poza **Artykułem #4**). Nie jest to nic złego w przypadku prac opisowych i korelacyjnych, które mogą być bardzo wartościowe, chociaż nie zawsze potrzebują konkretnych hipotez. Tym niemniej, mam wątpliwości w związku z Hipotezą (i) ze **Streszczenia Rozprawy**. Dotyczy ona toksyczności rtęci dla organizmów, która w ogóle nie była badana przez Autorów. Ponadto, mówi o wpływie charakterystyki habitatu na akumulację rtęci, podczas gdy próba oszacowania takiego wpływu (badanie różnych typów siedlisk) została podjęta wyłącznie w **Artykule #1**. W ramach tej hipotezy, w prawidłowy sposób była weryfikowana tylko część dotycząca związków akumulacji rtęci przez badane organizmy z ich sposobami odżywiania.
2. Mam też wątpliwość dotyczącą Celu (v) sformułowanego w **Streszczeniu**, dotyczącego określenia trofodynamiki rtęci w badanym rejonie. O ile pewne elementy tego zagadnienia zostały rzeczywiście zbadane, to do pełnej realizacji tego celu potrzebne byłyby badania wyższych poziomów troficznych – drapieżników żerujących na badanych bezkręgowcach. Należałoby określić, w jakim stopniu włączają one poszczególne gatunki ofiar do swojej diety i jak to się ma do akumulacji rtęci w ich tkankach. Bez tego, możemy tylko spekulować na temat roli badanych organizmów w akumulacji rtęci przez wyższe poziomy troficzne, ale nie możemy wyciągać na ten temat mocnych wniosków.
3. Nie rozumiem, co Autor ma na myśli w zdaniu „w rejonie Bałtyku (...) gatunki nierodzące niekoniecznie muszą rozszerzać swoją niszę, ale raczej pozostają w niej bardziej przystosowane w porównaniu z rodzimymi gatunkami” (str 32 jednolitego tekstu **Rozprawy**). Przecież w przedstawionej wcześniej hipotezie alternatywnej nie chodzi o

rozszerzanie niszy, tylko o to, że ona u gatunków obcych jest od początku szeroka. Moim zdaniem, sukces obcych gatunków w Bałtyku polega na tym, że znajdują tam one puste nisze ekologiczne, w których w ogóle nie muszą konkutować z rodzimymi organizmami. Z całą pewnością jest tak w przypadkach gatunków badanych w ramach ocenianej **Rozprawy**.

4. Skąd wziął się termin „ciałko” na określenie miękkich tkanek małży w polskojęzycznej części **Streszczenia**? Nie brzmi on zbyt naukowo...
5. Nie jestem pewny, czym jest „*A. ascatus*” z cytowanej na str 48 jednolitego tekstu **Rozprawy** pracy Fladunga (2000). Podejrzewam, że chodzi o raka szlachetnego, czyli *Astacus astacus* (z literówką w nazwie podanej w **Rozprawie**). Jeśli tak, to chciałbym zauważyć, że rak nie jest „innym krabem”...
6. Ponadto, polskojęzyczna wersja **Streszczenia** nie jest niestety wolna od błędów językowych, gramatycznych i stylistycznych.

Uwagi specyficzne dla poszczególnych artykułów

Artykuł #1 (*Rangia cuneata*)

1. Artykuł nie jest wolny od błędów językowych. Jest to do pewnego stopnia zrozumiałe w przypadku zespołu Autorów, dla których język angielski nie jest językiem rodzimym. Jednak w tym artykule nagromadzenie błędów i ich zakres, w niektórych miejscach utrudniający zrozumienie tekstu, jest dość uciążliwe. Kilka przykładów:
 - a. „The breeding season was the most effective process in clams from Hg detoxication” (highlights)
 - b. “clam body can detoxified Hg”
 - c. “To determine the role of the shell (...) has not been well recognized” (str 2)
 - d. “rangeland” zamiast “rangia” (str 4)
 - e. Co oznacza termin “borers” (str 4)?
 - f. “concentrations (...) were could significantly higher” (str 6)
 - g. Co oznacza termin “variegated” w zwrotach: “variegated zebra mussels” i “variegated crayfish” (str 6). I co robią raki w cytowanej tu pracy o racicznicy?
 - h. „The lowest concentration of Hg in the corpuscle in summer, when it has the most energy for the detoxification process, in addition to dilution due to growth and reproduction, was intensified by the deposition of Hg in the shell where Hg_{TOT} was 65 % accumulated by elimination of the metal from the corpuscle” – bardzo skomplikowane i trudne do zrozumienia zdanie, po przeczytaniu którego nasuwają się pytania: (i) czym jest „corpuscle”? (ii) co ukrywa się w zdaniu za zaimkiem „it”? (iii) co ulega intensyfikacji? (iv) co oznacza fraza „was 65% accumulated by elimination”?

W połączeniu z opisanymi wyżej niedoskonałościami w grafice (do których jeszcze zaraz nawiążę ponownie), pokazuje to, że poziom recenzowania i praca redakcyjna nad manuskrypcem ze strony czasopisma pozostawiają w tym przypadku wiele do życzenia.

2. Fig. 2. Przedstawia akumulację różnych frakcji rtęci w różnych częściach ciała i w różnych elementach środowiska, oraz u różnych klas wielkościowych *R. cuneata*, jest więc kluczowy dla zrozumienia całej pracy. Kolory mają oznaczać różne frakcje rtęci, ale na

rysunku jest tylko jeden kolor – czerwony. Rysunek jest przez to całkowicie nieczytelny. Ponownie moje zdziwienie budzi fakt, że nikt – Autorzy, recenzenci, redaktor, tego nie zauważył, nawet na etapie ostatecznej korekty tekstu, i nie przeszkadzało to w wydaniu decyzji o akceptacji manuskryptu...

3. Str. 5. Nie do końca rozumiem rozumowanie w wątku o interakcji *R. cuneata* z obrastającą ją racicznicą. Po pierwsze – to tylko spekulacja oparta na dość wątpliwych dowodach. Po drugie, jeśli obrost racicznicy sprawia, że *R. cuneata* słabiej zagrzebuje się w osadach i w większym stopniu korzysta z pokarmu odfiltrowywanego z wody, to powinno ją raczej upodabniać pod względem akumulacji rtęci do obligatoryjnych filtratorów, a nie od nich różnicować.
4. Str 5. Które osobniki były uznawane za juvenilne i dorosłe („juveniles” i „adults”)? Wcześniej jest podział na 9 klas wielkości, bez wskazania, które z nich są juvenilne, a gdzie zaczyna się dorosłość.
5. Str 6. „In autumn, adult organisms had half the mercury concentrations of juvenile organisms, indicating an important role of reproduction in the detoxification of adult rangia in summer”. Jeśli tak, to może to być wyjaśnienie omawianych w pracy zależności ze wskaźnikiem kondycji. Wysięk reprodukcyjny obniża kondycję dorosłych osobników i jednocześnie zmniejsza zawartość rtęci w ich tkankach. Natomiast u nierozmnażających się osobników juvenilnych takie zmiany nie zachodzą – stąd ich wyższa kondycja i jednocześnie więcej rtęci w ciele.
6. Fig. 5. Panele po lewej stronie pokazują dwa rodzaje rtęci: rtęć całkowitą i jej frakcję labilną 1b. Trudno powiedzieć, który kolor przedstawia którą frakcję, bo nie jest to wskazane w legendzie (przez analogię z Fig. 4 zakładam, że czarne słupki to rtęć całkowita, a czerwone – frakcja labilna). Jednak niezależnie od tego, o ile dobrze rozumiem, to frakcja labilna jest częścią całości, więc jej zawartość powinna być zawsze mniejsza od zawartości rtęci całkowitej (albo co najwyżej taka sama). Tymczasem czasami czarne wartości na wykresie są wyższe od czerwonych, a czasami odwrotnie. Jak to jest możliwe?
7. Str 9. „The variation in bivalve size at the measurement stations and in Hg concentration may indicate that its adaptation in the Vistula Lagoon is still in progress”. O ile zgadzam się ze stwierdzeniem, że adaptacja nowego przybysza do lokalnych warunków jest wciąż trwającym procesem, to nie rozumiem, w jaki sposób przestrzenna zmienność rozmiarów i stężenia rtęci miałyby o tym świadczyć?

Artykuł #2 (*Dreissena polymorpha*)

1. Str 2. „The zebra mussel was introduced to Europe”. Tu, aby uniknąć w przyszłości ewentualnych nieporozumień dyplomatycznych, chciałbym zauważyć, że rejon Morza Czarnego, z którego pochodzi racicznica, to też Europa...
2. Str 2. *Aythya fuligula* to po angielsku „tufted duck”, nie “czernica”.
3. Str 6. O ile jestem ostatnią osobą, która poddałaby w wątpliwość znaczący wpływ małży na środowisko związany z ich aktywnością filtracyjną, to jednak muszę zauważyć, że podana tu informacja o możliwościach filtracyjnych racicznicy jest przesadzona. Opiera się na pracy Wiktora (1969), z czasów, gdy populacja racicznicy w Zalewie Szczecińskim była wielokrotnie większa niż obecnie i osiągała historyczne już zagęszczenia powyżej 100

- tys. osobników na m². Poza tym, należy pamiętać, że małże filtrują tylko warstwę wody wokół siebie – jeżeli nie są ulokowane w płynącej wodzie albo w miejscu, gdzie następuje mieszanie słupa wody od powierzchni do dna, to ich wpływ na toń wodną jest ograniczony w większym stopniu, niż to wynika z prostych obliczeń opartych na wydajności pompowania wody przez ich aparat filtracyjny.
4. Str 7. „mercury concentration (...) was at approximate level” – co w tym kontekście znaczy termin “approximate”?
 5. Str 8. Przedstawiona tu zależność: „większe osobniki mają większe skrzela i w związku z tym większą powierzchnię filtracyjną” nie jest do końca właściwa. Zgodnie z regułami allometrii, przy wzroście izometrycznym całego ciała, powierzchnia rośnie wolniej niż objętość. Dlatego duże osobniki mają relatywnie mniejszą powierzchnię ciała (i narządów) niż małe (w stosunku do ich masy). Innymi słowy, kilogram dużych małży ma mniejsze możliwości filtracyjne niż kilogram małych osobników, co prawdopodobnie przekłada się również na pobieranie i wydzielanie różnych substancji przez ich skrzela. Oczywiście, zależności te ulegają komplikacji ze względu na możliwą allometrię wzrostu, a także większe możliwości pobierania dużych cząstek przez większe osobniki, jednak tych szczegółów nie znamy w odniesieniu do modelu badawczego przedstawionego w pracy.
 6. Str 9. Opis wyników analizy głównych składowych (PCA):
 - a. Wbrew opisowi w tekście, Składowa 1 jest skorelowana w większym stopniu z masą ciała, a nie z masą muszli (Table 3).
 - b. Składowa 3 jest silnie skorelowana tylko z długością i masą muszli, ale nie ze stężeniami rtęci (Table 3), więc na tej podstawie nie można nic powiedzieć o wpływie rozmiarów na akumulację rtęci.
 - c. Składowa 2 wykazuje silną korelację z frakcją HgS, a nie z labilną frakcją 1b (Table 3).

Artykuł #3 (*Eriocheir sinensis*)

1. Str 2. Informacja o braku wrogów naturalnych („lack of natural enemies”) polujących na kraba wełnistorękiego wydaje się sprzeczna z podanym niżej stwierdzeniem, że krab przyczynia się do wprowadzania rtęci do łańcucha troficznego (“crab contributes (...) to the trophic chain”).
2. Str 2. “...crabs prepare to migrate in the southern Baltic to breed” – Ale przecież w Bałtyku zasolenie jest zbyt niskie dla rozrodu kraba wełnistorękiego? Tu mam jeszcze pytanie, na które nie znam odpowiedzi, więc liczę na uzupełnienie mojej wiedzy podczas obrony. Czy kraby migrujące z Morza Północnego (gdzie znajduje się ich najbliższa stabilna populacja) do Bałtyku i dalej w górę polskich rzek są w stanie potem wrócić do miejsc, w których mogą przystąpić do rozrodu? Mam na myśli nie tylko możliwości lokomocyjne, ale też umiejętność znalezienia drogi powrotnej (z zaznaczeniem, że powrót do samego Bałtyku nie wystarczy). Jest to istotne, ponieważ, jeśli odpowiedź na powyższe pytanie brzmi „nie”, to nie możemy mówić o żadnych adaptacjach tych osobników do lokalnych warunków środowiskowych, włącznie z regulowaniem przez nie poziomu rtęci. W takim przypadku osobniki te, niezależnie od ich zdolności do przetrwania w niekorzystnych warunkach

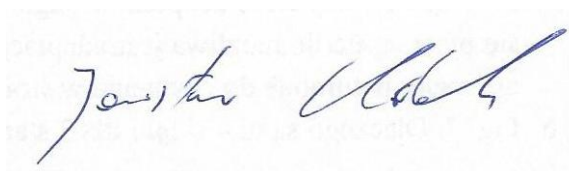
- zanieczyszczenia wody w Bałtyku, wpadałyby w pułapkę sprawiającą, że ich udział w puli genowej kolejnych pokoleń byłby zerowy.
3. Str 4. Nie rozumiem, w jakim celu zastosowana została tutaj analiza skupień. W dodatku, o ile dobrze rozumiem, oparta tylko na pojedynczej zmiennej - całkowitej zawartości rtęci w różnych częściach ciała (dlaczego nie podział na poszczególne frakcje?). W takim wydaniu, trudno to nazwać analizą wielowymiarową. Ponadto, w pracy nie ma opisu metody, a analiza skupień ma przecież wiele opcji wpływających na wynik (miara wiązania, miara odległości, itp.). Tym niemniej, do rozpoznania różnic w poziomie zawartości rtęci między różnymi częściami ciała wystarczą przecież testy istotności przedstawione dalej w tekście – analiza skupień jest tu nadmiarowa i mniej precyzyjna, bo nie pokazuje istotności różnic lub ich braku.
 4. Str 7. Autorzy dyskutują tu różnice w stężeniach rtęci między różnymi narządami w ciele krabów (skrzela, gruczoł trawienny, gonady), ale przecież wyniki pokazały, że są one nieistotne.
 5. Str 9. „crab may have adapted through evolution to detoxify Hg neurotoxin”. Tu pojawia się pytanie, na ile możliwa jest adaptacja ewolucyjna do czynnika, z którym kraby nigdy nie miały naturalnie do czynienia w środowisku przed ingerencją człowieka.
 6. Fig. 7. Dlaczego są tu 4 słupki dla 3 stanowisk badanych w pracy?

Artykuł #4 (*Rithropanopeus harrisi*)

1. Str 2. Czy na pewno okoń (perch) należy do ryb, które nie są dobrymi pływakami?
2. Str 3. Dlaczego mierzona była długość, a nie szerokość karapaksu, jak w **Artykule #3**?
3. Str 4. Parametr Storage – według opisu w metodach, jest to stosunek ogólnej zawartości rtęci w karapaksie do jej zawartości w całym ciele. Jednak późniejsze wyniki pokazują, że zostało to policzone nie tylko dla samego karapaksu, ale także dla innych części ciała. W związku z tym, opis podany w metodach nie jest pełny.
4. Str 4. Proponuję ograniczyć stosowanie terminu „significant” do znaczeń odnoszących się do analiz statystycznych, w innych przypadkach lepiej stosować synonimy („high”, „considerable”, itp.).
5. Str 4. Czy współczynnik akumulacji (BAF) na poziomie 1,05 oznacza akumulację (tzn. czy można powiedzieć, że jest znacząco wyższy niż 1)?
6. Str 5. „However, the American crab is one of the few species in which females copulate regardless of the hardness of the carapace” – bardzo ciekawa informacja, ale jak to zdanie się ma do otaczającego tekstu?
7. Str 6. Tu Autorzy szczegółowo dyskutują trendy czasowe akumulacji rtęci w organizmach krabów, ale nie podają żadnych dowodów statystycznych na istnienie tych zależności – stąd moja wątpliwość, czy te tendencje w ogóle istnieją i skąd to wiadomo. Punkty układające się w linie na Fig. 4 (nie zawsze w idealnym porządku), to trochę za mało.
8. Fig. 5. Dlaczego na wykresie nie ma żadnego rozrzutu (rozstępu ćwiartkowego) dla kategorii „soft tissue”?
9. Str 8. “The results presented here [tzn. na Fig. 6] confirm that older larger crabs become more predatory...” i następnie: “in the process of moulting, they [tzn. large crabs] eliminate a certain pool of Hg from the body”. Nie rozumiem tych wniosków. Które wyniki wskazują

na większą mięsożerność dużych krabów? I dlaczego linienie ma dla nich większe znaczenie, skoro linieją rzadziej niż małe osobniki?

Pomimo powyższych uwag krytycznych uważam, że oceniana **Rozprawa** z całą pewnością stanowi wartościowe, spójne tematycznie, szerokie i kompleksowe opracowanie tematu istotnego zarówno z czysto naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia, dostarczając szeregu wiarygodnych, cennych danych i wniosków. W związku z tym stwierdzam, że **Rozprawa Pana mgr. Bartłomieja Wilmana odpowiada w pełni wymogom stawianym rozprawie doktorskiej** przez Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Art. 187 Ustawy z 20 lipca 2018 r., Dziennik Ustaw 2018, poz. 1668, z późniejszymi zmianami). W związku z tym, wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Uniwersytetu Gdańskiego o dopuszczenie Go do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Janina Ułoch". The signature is written in a cursive style on a light-colored background.