

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

ul. Powstańców Warszawy 55,
81-712 Sopot

tel. (48 58) 7311939

Prof. dr hab. Ksenia Pazdro

Sopot, 17.09.2024

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej pana mgr Jakuba Budy
pt. „Accumulation, mobility and bioavailability of radioisotopes and their impact on
selected components of supraglacial ecosystem”
(w j. polskim “Akumulacja, mobilność i biodostępność radioizotopów oraz ich wpływ na
wybrane elementy ekosystemu supraglacialnego”)**

wykonanej na Wydziale Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza (w ramach Szkoły
Doktorskiej Nauk Przyrodniczych) pod kierunkiem dr hab. Krzysztofa Zawieruchy prof.
UAM, oraz dr hab. Edyty Łokas prof. IFJ PAN.

*Recenzja rozprawy doktorskiej została wykonana na wniosek Przewodniczącej Rady
Dyscypliny Nauki Biologiczne Uniwersytetu im Adama Mickiewicza, prof. UAM dr hab. Beaty
Messyasz (pismo WB-234-2023/2024 z dnia 10.07.2024)*

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 oszacowania wynikających stąd konsekwencji dla środowiska, w szczególności organizmów, obecnie i w przyszłości. Szczególnie interesujące są tu środowiska ekstremalne takie jak lodowce zarówno w rejonach polarnych jak i na obszarach wysokogórskich, z powodu ich niezwyklej dynamiki będącej w dużej mierze konsekwencją zmiany klimatu. Wcześniejsze badania prowadzone również w zespole, w którym Doktorant realizował swoją rozprawę, wskazują na znaczenie unikalnych mikroekosystemów lodowcowych – kriokonitów jako lodowcowych centrów bioróżnorodności, charakteryzujących się jednocześnie dużym potencjałem do kumulowania zanieczyszczeń. Badania dotyczące kriokonitów zostały zapoczątkowane stosunkowo niedawno, a procesy zachodzące w otworach kriokonitowych są wciąż dalekie od dokładnego rozpoznania. W szczególności dotyczy to kumulacji pierwiastków promieniotwórczych, a zwłaszcza wpływu promieniowania jonizującego na unikalną biocenozę w otworach kriokonitowych, w

szczególności na mikrobiom. Poszerzanie wiedzy na ten temat jest nie do przecenienia w kontekście intensywnego topnienia lodowców, położonych na obszarach o stosunkowo dużej akumulacji antropogenicznych radioizotopów w przeszłości.

W tym świetle nowatorski program badawczy zaproponowany i zrealizowany przez Doktoranta bazujący na próbkach pobranych z lodowców alpejskich, a którego wyniki zawarto w rozprawie pt „Accumulation, mobility and bioavailability of radioisotopes and their impact on selected components of supraglacial ecosystem” należy uznać za istotny przyczynek do wypełnienia luki poznawczej w badaniach dotyczących akumulacji pierwiastków promieniotwórczych w ekosystemach supraglacialnych i konsekwencji zarówno dla organizmów tam bytujących jak i ekosystemów przylegających do lodowców.

Dysertacja została napisana w języku angielskim i liczy 96 stron. Na rozprawę w postaci pracy pisemnej składają się 4 zasadnicze części: obszerny wstęp, rozdział I – artykuł „Unveiling threats to glacier biota: bioaccumulation, mobility and interactions of radioisotopes with key biological components”, opublikowany w 2024 roku w renomowanym czasopiśmie z obszaru nauk przyrodniczych „Chemosphere”, rozdział II - manuskrypt artykułu “Small glaciers as radioactive hotspots: concentration of radioisotopes during predicted intensive melting in the Alps” wysłany do równie renomowanego czasopisma „Journal of Hazardous Materials” (w chwili przygotowywania recenzji artykuł został już opublikowany w tym czasopiśmie). W obydwu artykułach pan magister Buda jest pierwszym i korespondencyjnym autorem. Prace mają charakter wieloautorski, co wynika z interdyscyplinarnego charakteru prowadzonych badań oraz realizacji międzynarodowych projektów badawczych. Załączone do rozprawy oświadczenia części współautorów (zgodne z wymogami ustawy) oraz oświadczenia w dwóch artykułach stanowiących rozdziały I i II (*credit authorship contribution statement*) jednoznacznie wskazują na znaczący wkład Doktoranta w opracowanie koncepcji badań, wykonanie części analiz, opracowanie danych, interpretację wyników, a przede wszystkim przygotowanie manuskryptów. Rozdział III to wstępny manuskrypt dotyczący zbadania zależności między radioaktywnością a bioróżnorodnością zbiorowości mikroorganizmów bytujących w otworach kriokonitowych lodowców alpejskich i jest kontynuacją badań przedstawionych w rozdziale I i II. Rozprawa zawiera również streszczenie w języku polskim oraz streszczenie w języku angielskim. W moim przekonaniu rozprawa stanowi zwartą całość, a jej przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego oszacowania akumulacji, mobilności i wpływu pierwiastków promieniotwórczych na biocenozę (w szczególności mikrobiom)

ekosystemu supraglacialnego na przykładzie lodowców alpejskich. Wstęp, zakończony spisem literatury (ok. 80 pozycji z ostatnich 20 lat) wykorzystanej w jego przygotowaniu, świadczy również o bardzo dobrej wiedzy teoretycznej Doktoranta w zakresie przedstawianej tematyki badań. Dogłębna analiza dostępnych danych literaturowych pozwoliła Doktorantowi wykazać zasadność planowanych badań, sformułować założenia rozprawy i cele badawcze przyporządkowując je jednocześnie poszczególnym rozdziałom. Jako główne analizy Doktorant wybrał radionuklidy o różnym pochodzeniu: radionuklid pochodzenia antropogenicznego cez-137 oraz naturalny izotop ołów-210. W niektórych badaniach uwzględniono również inne radionuklidy pochodzenia antropogenicznego: ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ (rozdział I) oraz ^{241}Am (rozdział II). Badania terenowe przeprowadzono na 22 lodowcach alpejskich o różnej charakterystyce. W mojej opinii cele naukowe rozprawy zostały poprawnie i logicznie sprecyzowane. Prace eksperymentalne zostały przez Doktoranta prawidłowo zaplanowane oraz wykonane w staranny sposób przy zastosowaniu adekwatnych metod analitycznych, a także nowoczesnych metod genetycznych, co pozwoliło na realizację założonych celów rozprawy. Doceniam również metody statystyczne zastosowane w analizie uzyskanych wyników. Nie mam wątpliwości, że zbiór wyników uzyskanych przez Doktoranta stanowi bardzo rzetelną podstawę do wnioskowania i został umiejętnie wykorzystany w poszczególnych rozdziałach, szczególnie w ich części dyskusja. Przeprowadzane badania pozwoliły Doktorantowi na zrealizowanie założonych celów pracy.

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

- wykazanie wpływu aktywności ^{137}Cs i ^{210}Pb na mikroorganizmy bytujące w otworach kriokonitowych na lodowcach alpejskich,
- określenie czynników wpływających na rozmieszczenie i mobilność ^{137}Cs i ^{210}Pb w ekosystemach supraglacialnych badanych lodowców oraz wykazanie istotnych różnic pomiędzy tymi radionuklidami ,
- wykazanie wpływu organizmów fotoautotroficznych na akumulację ^{210}Pb w kriokonitach,
- wykazanie, że zawartość materii organicznej i powierzchnia lodowca są istotnymi czynnikami determinującymi stężenie aktywności radionuklidów i ich mobilność na lodowcach alpejskich,
- wykazanie negatywnego oddziaływania radioaktywności wynikającej z akumulacji ^{137}Cs i ^{210}Pb na bogactwo gatunkowe mikroorganizmów bytujących w otworach kriokonitowych

zarówno w przypadku bakterii jak i organizmów eukariotycznych, przy jednoczesnym braku wyraźnego wpływu na konsumentów wyższego rzędu – niesporczaki

Istotnym wnioskiem sformułowanym przez Doktoranta jest sugestia, że zbiorowiska mikroorganizmów w strefie supraglacialnej wykorzystują głównie węgiel atmosferyczny, a nie tzw. „stary” węgiel zdeponowany w osadzie kriokonitowym, Wniosek ten jest istotny nie tylko z punktu widzenia akumulacji i obiegu radionuklidów, ale również obiegu węgla w ekosystemach lodowcowych.

Uzyskane wyniki podkreślają znaczenie organizmów w akumulacji radionuklidów na lodowcach, jak również potwierdzają założenie, że ekosystemy na lodowcach są wciąż niewystarczająco zbadane pod kątem bioróżnorodności i zależności troficznych. Uzyskane wyniki są istotne z punktu widzenia przewidywania skutków topnienia lodowców w wymiarze zmiany obiegu pierwiastków szkodliwych i tworzenia miarodajnych modeli biogeochemicznych. W wymiarze praktycznym istotne jest wykazanie znaczenia monitorowania skażenia radioaktywnego na lodowcach górskich, również w kontekście konsekwencji dla ekosystemów przyległych do lodowców alpejskich, położonych niżej.

W trakcie lektury rozprawy nasunęło mi się kilka uwag i komentarzy, które przedstawiam poniżej. Publikacja dwóch artykułów stanowiących część ocenianej rozprawy doktorskiej w czasopismach „Chemosphere” i „Journal of Hazardous Materials” oznacza, że ich treść została pozytywnie oceniona już przez kompetentnych recenzentów. Na podkreślenie zasługuje fakt, że analizie został poddany obszerny materiał badawczy, a dyskusja zawarta w artykułach jest wnikliwa. Zatem moje uwagi czy komentarze mają charakter dyskusyjny lub są natury edytorskiej.

Struktura pracy – w pracy w streszczeniach lub w części „Introduction” zabrakło mi skondensowanej informacji o zastosowanych metodach badawczych, a na końcu pracy rozdziału podsumowującego „Wnioski”. Oczywiście szczegółowe informacje można znaleźć w poszczególnych rozdziałach I-III, ale bardziej precyzyjna struktura pracy z pewnością ułatwiłaby czytelnikowi docenienie niezaprzeczalnych walorów merytorycznych. Te niedociągnięcia częściowo rekompensuje podrozdział „limitations” w rozdziale III, który wskazuje również na umiejętność krytycznej analizy uzyskanych wyników przez doktoranta i sformułowanie wyzwań na przyszłość.

W streszczeniu i w rozdziale I Doktorant definiuje kriokonity jako osad biogeniczny. Moim zdaniem jest to znaczne uproszczenie lub prawdopodobnie skrót myślowy.

Poprosiłabym jednak, aby w trakcie obrony Doktorant zechciał doprecyzować definicję osadu kriokonitowego.

W streszczeniu znalazło się sformułowanie „radionuklidy wykazują różne relacje przestrzenne z organizmami”. Prosiłabym o doprecyzowanie, co Doktorant miał na myśli.

Ciekawa jestem zdania Doktoranta, czy w do parametrów mierzonych w pobranych próbkach nie warto oprócz pomiarów stężenia chlorofilu *a* dodać pomiarów stężenia fikobilin, szczególnie, że w rozdziale I jako jeden z parametrów rozważany jest udział cyjanobakterii w zbiorowisku bakterii? Moim zdaniem w rozdziale I „wkradła się drobna nieścisłość nomenklaturowa- zgodnie z informacją w części Materiały i Metody (rozdział I) określenie chlorofil jest synonimem chlorofilu *a*, a w innym miejscu autor podaje że był mierzony chlorofil całkowity.

Ciekawa jestem również, czy uwzględnienie frakcji osadu kriokonitowego >0,420 mm mogłoby mieć wpływ na uzyskane zależności, czy też jej udział w przypadku zebranych próbek był nieznaczący?

W przeprowadzonych badaniach pobierane były próbki osadów z otworów kriokonitowych. Czy we wcześniejszych badaniach lub w badaniach innych autorów uwzględniano swego rodzaju próbki kontrolne czyli próbki z powierzchni lodowców, ale nie z otworów kriokonitowych (pytanie to wynika z faktu, że doktorant często używa sformułowania np. „the average concentration on a glacier” bazując na wynikach z kriokonitów)

Czy w trakcie obrony Doktorant mógłby pokusić się o sformułowanie hipotez badawczych dotyczących materiału zawartego w rozprawie?

W rozdziale II: jednym z wniosków jest stwierdzenie: „Ogólnie rzecz biorąc, znaczenie materii organicznej w wiązaniu radioizotopów zależy od właściwości chemicznych radioizotopu” (str.53). Moim zdaniem ten wniosek jest niepełny. Wiązanie radioizotopów zależy również od charakterystyki materii organicznej.

W przypadku rozdziału III analizując dane (np. przedstawione na rys. 3), może warto rozważyć w przypadku bakterii uwzględnienie podziału na bakterie autotroficzne i heterotroficzne. Czy zdaniem Doktoranta wniosłoby to nowe informacje do interpretacji uzyskanych wyników?

W rozdziale III zauważyłam brak tabeli 1, na którą Doktorant powołuje się w tekście rozdziału (str. 76).

Jednym z wniosków rozprawy jest to, że skutkiem przewidywanego zniknięcia małych alpejskich lodowców w ciągu najbliższych 50 lat będzie zwiększona presja związana z uwalnianiem radionuklidów. Czy zdaniem Doktoranta presja ta będzie zależna od rodzaju radionuklidu?

Rozprawa doktorska dotyczy pierwiastków promieniotwórczych. W naturalnych ekosystemach mamy jednak do czynienia z „koktajlem” zanieczyszczeń zarówno organicznych jak i nieorganicznych. Czy Doktorantowi znane są może badania dotyczące akumulacji zanieczyszczeń organicznych czy mikroplastiku w osadzie kriokonitowym rejonów wysokogórskich czy polarnych? Jak zdaniem Doktoranta inne zanieczyszczenia mogą wpływać na akumulację radionuklidów w tych unikalnych mikroekosystemach?

Podsumowanie

Wymienione wyżej nieliczne uwagi czy też komentarze (głównie natury dyskusyjnej) nie obniżają wysokiej wartości merytorycznej i walorów poznawczych przedstawionej mi do recenzji pracy doktorskiej. Rozprawa doktorska pana magistra Jakuba Budy zawiera obszerny materiał doświadczalny. Doktorant uzyskał nowatorskie wyniki i wykazał się dużą wnikliwością w opracowaniu tak dużego zbioru uzyskanych danych, co świadczy o Jego dojrzałości naukowej. Uzyskane przez Doktoranta wyniki oceniam jako istotny wkład w poszerzenie wiedzy o obiegu radionuklidów, w szczególności tych pochodzenia antropogenicznego, w ekosystemach lodowcowych i konsekwencjach ich akumulacji dla organizmów bytujących na lodowcach jak również w ekosystemach przylegających do topniejących lodowców.

Reasumując, po zapoznaniu się z całością pracy jestem w pełni przekonana, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa pana mgr Jakuba Budy odpowiada ustawowo określonym warunkom stawianym rozprawom doktorskim. Wniosuję zatem do Rady Dyscypliny Nauki Biologiczne Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza o przyjęcie ocenianej rozprawy doktorskiej i dopuszczenie pana mgr Jakuba Budy do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Z uwagi na wysoki poziom merytoryczny rozprawy, biegłość poruszania się Doktoranta w przedstawionej tematyce, oraz opublikowanie części wyników badań w czasopiśmie o szerokim zasięgu międzynarodowym wniosuję do Wysokiej Rady o rozważenie wyróżnienia przedstawionej mi do oceny rozprawy doktorskiej.

