

Prof. dr hab. Joanna Pijanowska
Zakład Hydrobiologii
Wydział Biologii UW
Żwirki i Wigury 101
02-089 Warszawa

Warszawa, 1 września 2024 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr Jakuba Budy pt.
„Akumulacja, mobilność i biodostępność radioizotopów oraz ich wpływ
na wybrane elementy ekosystemu supraglacialnego”**

Rozprawa doktorska Pana mgr Jakuba Budy przygotowana pod kierunkiem Pana prof. UAM dr hab. Krzysztofa Zawieruchy i Pani prof. IFJ dr hab. Edyty Łojkas, w Szkole Doktorskiej Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim i obejmuje polskie streszczenie, anglojęzyczny abstrakt i wstęp zakończony sformułowaniem celów pracy oraz 3 rozdziały będące zasadniczą częścią rozprawy - 3 artykuły naukowe, z których dwa zostały opublikowane w prestiżowych czasopismach; jeden z nich w *Chemosphere* (IF=8,1) w 2024 r. , drugi, który w momencie złożenia pracy miał status *under review* – właśnie się ukazał w *Journal of Hazardous Materials* (IF=12.2). W obu publikacjach Pan Jakub Buda jest pierwszym autorem, a Jego udział w przygotowaniu pracy jest czytelnie zwerbalizowany (dotyczy to publikacji w *Chemosphere* i w *JHM*). Trzeci rozdział (przyszły artykuł, jak się domyślam) pozostaje na nieznanym mi etapie przygotowania do druku (submitji?), w nieujawnionym składzie autorów. Status tego rozdziału wymaga moim zdaniem – chwilowo brakującego - komentarza ze strony Doktoranta (co do Jego kontrybucji oraz liczby i udziału pozostałych Autorów).

Badania (zasadniczo badania terenowe, wsparte nowoczesną analityką laboratoryjną) przeprowadzone w ramach pracy doktorskiej dotyczyły zawartości i mobilności radioizotopów naturalnych i tych pochodzenia antropogenicznego w alpejskich lodowcach. Głównym celem pracy była ocena, czy podwyższone w tym środowisku stężenia radionuklidów zagrażają występującym w lodowcach (oraz w ekosystemach przyległych) organizmom. Kolokwialnie mówiąc, jest to solidny kawał dobrej i potrzebnej „roboty”.

Wpisują się one w nurt badań (czy jeden z nurtów badań) uprawianych przez Doktoranta od kilku lat w kilkuosobowym zespole. Wyniki tych badań zostały opublikowane w 25 publikacjach w prestiżowych czasopismach międzynarodowych i są nieźle, od kilkunastu do kilkudziesięciu razy cytowane.

Wykazano (na podstawie badań 17 alpejskich lodowców) pozytywną korelację pomiędzy zawartością materii organicznej a stężeniami izotopów cezu ^{137}Cs i ołowiu ^{210}Pb (zakładam, bo nie jest to explicite powiedziane, że w kriokonitach), przy czym poziom tego ostatniego był również dodatnio skorelowany ze stężeniem chlorofilu, co wskazuje na możliwy (i spodziewany) wpływ organizmów autotroficznych na tempo bioakumulacji. Z analizy mobilności obu radioizotopów wynika, że ^{137}Cs związany jest w ponad 70% z minerałami, przede wszystkim z ich powierzchnią, może zatem oddziaływać na organizmy, które budują biofilm na cząstkach mineralnych. podczas gdy ^{210}Pb jest bardziej mobilny i związany raczej z kompleksami organicznymi. U szczytowych konsumentów zaobserwowano akumulację obu radioizotopów oraz także plutonu, $^{239-240}\text{Pu}$, na niższym jednak poziomie niż w strefach silnie radioaktywnie skażonych.

Zbadano również związek między wysokością i powierzchnią lodowców, zawartością materii organicznej w ciemnym osadzie supraglacialnym (kriokonicie) oraz opadami

atmosferycznymi a stężeniem promieniotwórczym naturalnych (^{210}Pb) i antropogenicznych radionuklidów (cezu i ameryku ^{137}Cs i ^{241}Am). Wyniki badań tych samych alpejskich lodowców wskazują, że stężenia radioizotopów zależą od zawartości materii organicznej w kriokonicie, co sugeruje znaczącą rolę interakcji abiotyczno-biotycznych w akumulacji zanieczyszczeń na lodowcach. Opady, takie jak podczas szczytów depozycji ^{137}Cs i po katastrofie elektrowni jądrowej w Czarnobylu, nie mają wpływu na obecne stężenie promieniotwórcze (*activity concentration*). Ponadto, stężenia radioizotopów w kriokonicie są wyższe na małych niż na dużych lodowcach. Jestem ciekawa, dlaczego Autorzy nie dodali do tej listy miąższości lodu? Jakiego jej efektu na stężenia radionuklidów można by się spodziewać?

Kolejna część pracy dotyczy zależności pomiędzy podwyższoną aktywnością radioizotopów w środowisku a zróżnicowaniem gatunkowym (taksonomicznym) w zespołach mikroorganizmów i występowaniem szczytowych konsumentów (jedynymi przedstawicielami tej grupy funkcjonalnej są tu niesporczaki, Tardigrada). Znaczne zróżnicowanie poziomu radioaktywności, zarówno radioizotopów naturalnych (ołowiu) jak i tych pochodzenia antropogenicznego (cezu) jest odzwierciedlone w zróżnicowaniu bogactwa mikroorganizmów - im wyższe promieniowanie, tym różnorodność w ich zespołach jest mniejsza. Wbrew oczekiwaniom, liczebność Tardigrada nie była skorelowana ze stężeniem promieniotwórczym, ani cezu ani ołowiu.

Badania zaprojektowane były w kompleksowy sposób, domyślam się, że ten sam materiał zgromadzony w okresie 2020-2021 został zgrabnie rozdzielony i w rezultacie posłużył do powstania trzech artykułów naukowych. Można dyskutować, czy jest to akceptowalny manewr, w to miejsce zapewne mogłaby powstać jedna, bardziej opasła publikacja, obejmująca zagadnienia, które teraz stanowią treść trzech artykułów. Lub trzyczęściowa praca pod jednym wspólnym szyldem. Takie nauki w swoim czasie odebrałam od recenzentów prestiżowego czasopisma, dlatego zabieg ten komentuję.

Badania wykonane w ramach dysertacji wpisują się w nurt badań podstawowych z zakresu wpływu zanieczyszczeń na żywe organizmy i ich zespoły, oraz wpływu obecności organizmów na tempo bioakumulacji i mobilność zanieczyszczeń. Mają także oczywisty oddech aplikacyjny, bowiem lodowce są uważane za wtórne źródła zanieczyszczeń, w tym radioizotopami, takimi jak cez czy pluton, o podwyższonym ich stężeniu w porównaniu z innymi ekosystemami. W kriokonitach, podczas topnienia lodowców, zachowuje się znaczna część radioizotopów zdeponowanych w lodzie. Zachodzące współcześnie topnienie lodowców stwarza znaczne ryzyko uwolnienia zmagazynowanych radioizotopów, jednak wiedza o specyficznych dla lodowców czynnikach wpływających na ich stężenie pozostaje nadal niepełna. Ponieważ przewiduje się, że wiele małych lodowców w Alpach zniknie w ciągu najbliższych 50 lat, uwalnianie radioizotopów w ekosystemach górskich może odbywać się na większą skalę niż sugerują wcześniejsze prognozy. W ślad za stwierdzeniem, m. in. w abstrakcie trzeciego artykułu, że podwyższone stężenie radioizotopów na lodowcach może stanowić zagrożenie dla funkcji ekosystemu, potrzeba monitorowania radioaktywności jest oczywista, nie tylko na lodowcach alpejskich ale także w regionach, gdzie stwierdza się wysokie koncentracje radionuklidów (m. in. Kaukaz, łańcuchy górskie Azji Środkowej i Ameryki Północnej).

Zasadniczym wynikiem całości dysertacji jest udokumentowanie roli organizmów w akumulacji radionuklidów oraz wykazanie wpływu radionuklidów na organizmy ekosystemów lodowcowych, jednym słowem rozpoznanie złożonych relacji pomiędzy środowiskiem abiotycznym (tu: zanieczyszczeniami radioizotopami) a biotycznym, a więc występowaniem i różnorodnością organizmów. Wstęp moim zdaniem niepotrzebnie jest gruntownym przeglądem literatury dotyczącej radioizotopów (opisane są w nim m. in. źródła izotopów naturalnych i antropogenicznych, ryzyko związane z ich obecnością w środowisku,

związek między obecnością i stężeniami radioizotopów a występowaniem organizmów, źródła wysokich zawartości radionuklidów w lodowcach), a powinien skoncentrować się na wprowadzeniu do tematyki doktoratu, z wyraźnym wskazaniem, co stanowi o nowatorskim charakterze tego zamysłu, a co uznać można za przecieranie utartych szlaków. Różne badania dotyczące podobnej tematyki prowadzone są od kilkudziesięciu lat na świecie, choć bez wątplenia w rozprawie doktorskiej Pana mgr Jakuba Budy oddech świeżości ma ocena tego wpływu w lokalizacjach odległych od miejsc nuklearnych katastrof lub wzmożonego opadu radioaktywnego na skutek prób z bronią jądrową, rozbudowany w stosunku do wcześniejszych badań rejestr czynników kształtujących występowanie i stężenia radioizotopów na lodowcach, poszukiwanie i głębokie studium nad złożonym systemem zależności między stężeniem promieniotwórczym radioizotopów a różnorodnością w zespołach mikroorganizmów i elementami ekologii populacji występujących w alpejskich lodowcach. Najbardziej jednak zwraca uwagę brak generalnej dyskusji, dojrzałej syntezy uzyskanych wyników, a także otwarcia nowych przestrzeni badawczych. Jeśli już zapadła decyzja co do tego, żeby trzy oryginalne prace składające się na dysertację osadzić w szerszym kontekście i zaopatrzyć je we wspólny wstęp i streszczenie, to należało moim zdaniem konsekwentnie domknąć całość propozycją syntezy i listą pytań, które nadal wymagają odpowiedzi. Doktorant zatrzymał się w połowie drogi, poprzestając jedynie na wstępie.

Moim zdaniem dość słabo skomentowane we wszystkich częściach pracy pozostają m. in. mechanizmy przyspieszania topnienia lodowców przez bakterie związane z kriokonitami, ich „inżynierska” rola w ekosystemach glacialnych, niedoszacowanie wagi tego mechanizmu w prognozach klimatycznych, przewidywane konsekwencje uwalniania radionuklidów z topniejącego lodu dla ekosystemów przyległych czy wspomniany w pracy związek spadku stężenia ^{210}Pb wraz z wysokością lodowca, z powodu zmian atmosferycznych radonu, ^{222}Rn (jak to miałyby działać?). Dalszych badań niewątpliwie wymaga poznanie mechanizmu wywoływanych przez radionuklidy zmian na poziomie osobniczym (komórkowym) u bakterii i fotoautorotrofów. Może będzie okazja, by porozmawiać o tym w trakcie obrony?

Rola recenzenta w procedurze, w której (całość) albo większość dysertacji jest opublikowana w dobrych czasopismach jest trochę niewdzięczna, powiedziałabym, nieco redundantna. Prace, przynajmniej dwie spośród trzech, przeszły przez sito recenzji, i siłą rzeczy musiały sprostać wymogom redakcyjnym bardzo dobrych czasopism. Można oczywiście nadal kwestionować pewne stwierdzenia, spierać się z niektórymi tezami, czy „czepiać się” szczegółów, ale zasadniczo recenzent porusza się w materii już po wielokroć komentowanej i ocenionej, i uwagi byłyby zapewne powieleniem trudu redakcyjnych recenzentów. Nie z lenistwa, ale z pragmatycznych względów nie będę tego czynić, przynajmniej w stosunku do dwóch pierwszych rozdziałów (publikacji). Ten trzeci, choć ma już format artykułu szykowanego do druku, pozostawia najwięcej do życzenia, choć nie w sferze merytorycznej, codo której nie mam zastrzeżeń, a raczej redakcyjnej i językowej.

Ocena formalna

Streszczenie pracy jest napisane językiem bardziej technicznym niż naukowym, będąc bardziej opisem tego, co zostało w ramach rozprawy zrobione niż dojrzałą syntezą uzyskanych wyników. Oba (i polsko- i anglojęzyczne) streszczenia są napisane cokolwiek fabularnym stylem, i nie są wolne od niezręcznych sformułowań, kolokwializmów, skrótów myślowych. Nie są pomocnym wprowadzeniem do zawartości doktoratu, ani też nie są satysfakcjonującą syntezą uzyskanych wyników.

Jest pewna kategoria niepokojących sformułowań, typu „pozytywny związek między stężeniami aktywności a zawartością materii organicznej” (s. 5); nawiasem mówiąc, nie Autor nie ujawnił, gdzie (czy w kriokonitach, czy na powierzchni lodu, czy w osadach) ten

związek zachodzi. Po polsku *activity concentration* tłumaczy się raczej jako stężenie promieniotwórcze a nie stężenie aktywności. I dalej: „radionuklidy wykazują relacje przestrzenne z organizmami” (s. 6) - to nie brzmi dobrze. Za mocno niefortunne uważam nazwanie w „Podziękowaniach” Instytutu Fizyki Jądrowej imieniem prof. Henryka Niewodzińskiego, podczas gdy poprawnie nazwisko Patrona brzmi Niewodniczański.

W bogatym spisie literatury pozycje są cytowane niekonsekwentnie, niektóre z podaniem tomu i zeszytu, inne jedynie ze wskazaniem tomu, niektóre zawierają odwołanie do stron, inne – nie. Cała lista jest pełna tych niekonsekwencji, nie będę ich zatem wymieniać.

Wniosek końcowy

Różne, najczęściej drobne wątpliwości dotyczące struktury pracy i formalnych uchybień nie rzutują na moją bardzo pozytywną ocenę merytoryczną całości. Uważam, że przedłożona mi do oceny dysertacja spełnia kryteria wymienione w art. 187, ust. 1-2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. z 2018 poz. 1668 z późn. zm.). Wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Biologiczne Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu o dopuszczenie Pana mgr Jakuba Budy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

