



dr hab. Aleksandra Nadgórska-Socha, prof. UŚ

Katowice 24.04.2024

Zespół Ekologii
Instytut Biologii, Biotechnologii
i Ochrony Środowiska
Wydział Nauk Przyrodniczych
Uniwersytet Śląski
Ul. Bankowa 9
40-007 Katowice
Tel. (32) 3591991

Recenzja rozprawy doktorskiej

**Pani mgr Marii Kolon-Jaremczak pt. „Pierwiastki śladowe w *Pleurozium schreberi*,
Racomitrium lanuginosum oraz *Sanionia uncinata* z tundry arktycznej (Islandia)
i alpejskiej (Karkonosze)”** wykonanej w

Zakładzie Ekologii, Biogeochemii i Ochrony Środowiska, Wydziału Nauk Biologicznych,
Uniwersytetu Wrocławskiego pod kierunkiem **dr. hab. Lucyny Mróz**.

Formalną podstawą opracowania recenzji jest Pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Nauki Biologiczne Uniwersytetu Wrocławskiego dr hab. inż. Marcina Kadeja prof. UWr., z dnia 26 lutego 2024 roku przygotowane w oparciu o uchwałę Rady Dyscypliny Naukowej Nauki Biologiczne Uniwersytetu Wrocławskiego Nr 38/2024 z dnia 22 lutego 2024 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów w postępowaniu o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki biologiczne Pani mgr Marii Kolon-Jaremczak.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska liczy 98 stron, z czego 72 strony to właściwa treść rozprawy, po której następują: spis literatury (195 pozycji), streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz rycin i tabel.

Celem pracy było porównanie zawartości pierwiastków śladowych w gametofitach mchów ektohydrycznych: *Pleurozium schreberi*, *Racomitrium lanuginosum* i *Sanionia uncinata* z tundry arktycznej (Islandia) i alpejskiej (Karkonosze) oraz zawartości tychże pierwiastków w glebie i skałach. Problematyka badawcza dotycząca wykorzystania



mchów jako bioindykatorów zanieczyszczenia i jakości środowiska, podjęta w dysertacji, była i jest często wykorzystywana w badaniach od lat 60 poprzedniego wieku. W wielu opracowaniach podkreśla się, dlaczego mchy znajdują zastosowanie jako bioindykatory jakości środowiska, abiomonitoring z wykorzystaniem mchów jest stosowany w ocenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego przez różnorodne substancje, takie jak metale ciężkie, Wielopierścieniowe Węglowodory Aromatyczne (WWA), czy mikroplastik. Użycie bioindykatorów jest prostym, komplementarnym i uzupełniającym podejściem do chemicznych procedur oznaczania pierwiastków śladowych w środowisku. W najnowszej literaturze można znaleźć stwierdzenia, że metody bioindykacji zaczynają skutecznie konkurować z tradycyjnymi metodami badania zanieczyszczenia środowiska i stają się jednym z filarów nowoczesnego monitoringu środowiskowego. Dlatego, w biomonitoringu pasywnym analizie poddawane są próbki fauny i flory, pobrane z ich naturalnego środowiska. Należy również podkreślić, rangę problematyki badawczej: mchy jako bioindykatory, biomonitory wykorzystywane są w programie Państwowego Monitoringu Środowiska (Zintegrowanego Monitoringu środowiska, D2 – Metale ciężkie i siarka w mchach).

W wielu opracowaniach podkreśla się powody, dla których mchy są wykorzystywane jako bioindykatory jakości środowiska. Są one uznawane za czułe wskaźniki obecności metali ciężkich w środowisku ze względu na ich zdolność do występowania w różnych siedliskach, włączając w to obszary antropogenicznie przekształcone. Ponadto, mchy nie posiadają kutikuli i epidermy, dzięki czemu ich liście są łatwo przepuszczalne dla jonów metali, nie posiadają korzeni i tkanek przewodzących; makro i mikroelementy czerpią głównie z opadów atmosferycznych i suchej depozycji, absorbują metale głównie poprzez prosty proces wymiany jonowej. Te cechy w sposób właściwy uwzględniła Doktorantka wybierając obiekt swoich badań.

W dysertacji, Doktorantka podjęła próbę porównania zawartości pierwiastków śladowych u trzech gatunków mchów: *Pleurozium schreberi*, *Racomitrium lanuginosum* i *Sanionia uncinata* rosnących w stosunkowo wolnej od zanieczyszczeń antropogenicznej Islandii i zbliżonych jej klimatycznie Karkonoszach, narażonych na wpływy zanieczyszczeń.

We wstępie Doktorantka wyjaśniła, dlaczego badania zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu biomu tundry obejmującego regiony arktyczne i alpejskie, opisała charakter zanieczyszczeń występujący na Islandii (głównie gazy i areozole wulkaniczne oraz nieliczne tereny sąsiadujące z hutnictwem aluminium. W przypadku Karkonoszy wzięła pod uwagę zanieczyszczenia związane z wydobyciem węgla brunatnego, przemysłem chemicznym i elektrowniami, jak samą lokalizacją badanego terenu związaną z przepływem zanieczyszczonych mas powietrza.

Rozdział „Wstęp” zakończony został podaniem celu pracy oraz wskazaniem dwóch hipotez badawczych. Uważam, że cel pracy jest zbyt ogólny, brakuje w nim nazw pierwiastków śladowych, które będą analizowane. Ponadto, w wyznaczonym celu warto byłoby również uwzględnić współczynnik akumulacji metali MAI.

W kolejnych rozdziałach, które należy traktować, jako ciąg dalszy rozważań wstępnych, Doktorantka szczegółowo opisała teren swoich badań: warunki klimatyczne, geologiczne, glebowe, specyfikę roślinności oraz rodzaje tundry na badanych terenach, a także przedstawiła szczegółowy opis ektohydrycznych gatunków mchów: *Pleurozium schreberi*, *Racomitrium lanuginosum* i *Sanionia uncinata*, w gametofitach których analizowała zawartość wybranych pierwiastków śladowych.

Opisane przez Doktorantkę cechy taksonomiczne, morfologiczne i fizjologiczne badanych gatunków są szczególnie cenne, ponieważ, mogą mieć wpływ na przedstawione w dysertacji wyniki badań dotyczące akumulacji pierwiastków śladowych i potwierdzenie

lub negację hipotezy badawczej nr 2 „*Sanionia uncinata* najlepiej akumuluje pierwiastki śladowe ze względu na pofałdowaną powierzchnię listków”.

Należy podkreślić, że w podrozdziałach charakteryzujących badane gatunki mchów, Doktoranka zamieściła osobiście wykonane fotografie darni i gametofitów badanych gatunków. Żałuję, że Autorka dysertacji nie podała lokalizacji, w których wykonała zdjęcia. W rozawężniach wstępnych znalazłam także drobne błędy językowe, przykładowo, „gatunek popularny”. Może, lepiej byłoby użyć innych określeń, właściwych dla opracowań naukowych, np. „pospolity” czy „powszechny”.

W rozdziale „Materiał i metody” opis zastosowanych metod jest adekwatny do przedstawionych wyników. Doktorantka w prawidłowy sposób zgodny z założeniami tego typu prac opisała pobór prób. Natomiast, zabrakło tam jednak informacji o wielkości próbki zielonych części gametofitów (fragmentów darni) - 10cm x 10cm, 20cm x 20 cm? oraz danych, i z ilu podprób składała się jedna próba. Podobnie uwagi dotyczą także próbek glebowych. Wydaje mi się, że dla przejrzystości metodyki dobrze byłoby rozdzielić, opis poboru prób roślinnych i glebowych, aby uniknąć błędów merytorycznych i niejasności metodycznych.

W kolejnych podrozdziałach „Materiału i metod”, czytelnik znajdzie szczegółowe mapy z numerami stanowisk, z których pobierano próby (4.1). Wydaje mi się, że na etapie przygotowania pracy do druku warto rozważyć przygotowanie tabeli bądź tabel uwzględniających numery stanowisk badawczych z uwzględnieniem współrzędnych geograficznych, oraz rodzaj tundry charakterystyczny dla danych stanowisk (np. tundra podmokła, itp.). Ponadto, przy poszczególnych stanowiskach warto też nazwać pobierane gatunki, a także, jeśli Doktorantka posiada takie informacje, podać wysokość nad poziomem morza, czy informacje o strukturach geologicznych na danych stanowiskach badawczych.



W podrozdziale 4.2. znajduje się szczegółowy opis analiz chemicznych oraz metodyka przygotowania prób roślinnych, skalnych i glebowych do planowanych badań. Zawarte w tym podrozdziale dane warto uzupełnić o liczbę powtórzeń wykonywanych naważek i analiz, czy podać skład wody królewskiej. Przygotowując publikację do druku warto rozważyć określenie dokładności uzyskanych wyników analiz, odnosząc się do zastosowanych Certyfikowanych Materiałów Referencyjnych.

Podrozdział 4.3 zawiera opis wykorzystanych analiz statystycznych i współczynnika akumulacji metali (MAI) zastosowanego celem porównania ogólnej zdolności do akumulacji metali śladowych. Godnym podkreślenia jest fakt, że w pracy zastosowano wykresy ordynacji PCCA dla badanych stanowisk i projekcję zawartości pierwiastków na płaszczyźnie czynników, które posłużyły do dostarczenia informacji o relacji między próbkami i pokazania korelacji między pierwotnymi zmiennymi a dwoma pierwszymi składowymi.

Rozdział „Wyniki” został podzielony na trzy podrozdziały: 5.1 „Skały” 5.2 „Gleby” 5.3.-„Mchy”. Wyniki zestawiono w 11 tabelach i na 5 rycinach, które mimo wielości zawartych w nich informacji, są przejrzyste i czytelne. Godnym podkreślenia jest fakt użycia analizy składowych głównych i klasyfikacji PCCA. Uważam, że w czasie przygotowania manuskryptu do druku warto rozważyć użycie klasycznej analizy korelacji (między zawartością pierwiastków w glebach i skałach a zawartością pierwiastków w gametofitach analizowanych mchów) i przedstawienie jej w postaci „heat mapy”.

Istotnym wynikiem przeprowadzonych analiz pierwiastków śladowych w gametofitach badanych mchów jest wskazanie, że najlepszym bioakumulatorem kadmu i miedzi oraz cynku na obu terenach badawczych jest *Sanionia uncinata*, zaś żelaza oraz ołowiu *Racomitrium lanuginosum*.

Rozdział „Dyskusja” analogicznie, jak rozdział „Wyniki” został podzielony na 3 podrozdziały. Za cenne uważam tabelaryczne zestawienia zawartości analizowanych pierwiastków w skałach, glebach oraz mchach wykonanych przez innych badaczy.

W przedstawionym zestawieniu podano zawartości pierwiastków dla skał na Islandii, Spitsbergenie oraz w Karkonoszach, a także w glebach na terenie Arktyki Europejskiej, Islandii, Karkonoszy i Spitsbergenu oraz dla mchów: *Pleurozium schreberii* i *Hylocomium splendens* na terenach Europy północnej, Polski (Góry Światokrzyskie, Tatry), Alaski i Finlandii, dla *Racomitrium lanuginosum* oraz *R. canescens* z terenów: Grenlandii, Islandii, Arktyki Kanadyjskiej, Spitsbergenu i Karkonoszy a także dla *Sanionia uncinata* z terenów: Spitsbergenu, Antarktyki i Islandii.

W recenzowanej dysertacji, za szczególnie wartościowe uważam, zgodne z literaturą potwierdzenie, że do celów monitoringu szczególnie użyteczne, są mchy formujące duże skupiska na rozległych obszarach, co jest cechą charakterystyczną gatunków wykorzystanych w badaniach Doktorantki. Ponadto, na uwagę zasługuje także dokonane przez Doktorantę porównywanie z literaturą m.in. z pracą Djingovej i współpracowników (2004) zawartości pierwiastków śladowych charakterystycznych dla obszarów wolnych od zanieczyszczeń, a także sposób, w jaki Doktorantka porównała i wytłumaczyła, dlaczego najwyższe otrzymane w Jej badaniach wyniki zawartości pierwiastków śladowych były wyższe od tych, uzyskanych we wcześniejszych badaniach innych autorów.

Doktoranka wykazała, że zawartość kobaltu, chromu, miedzi, żelaza i niklu w tkankach badanych gatunków mchów były istotnie wyższe na Islandii niż w Karkonoszach, co potwierdzono również dla gleb. Autorka rozprawy w poprawny sposób wytłumaczyła, w zgodzie z literaturą starszą i nowszą, że Islandia jest jednym z obszarów eolicznie aktywnych na świecie, co więcej pył dostający się na te tereny składa się z cząstek szkliska wulkanicznego oraz bazaltu więc może przyczyniać się do wyższych zawartości kobaltu, chromu, miedzi, żelaza i niklu w tkankach ektohydrycznych mchów.

Wyniki badań Doktorantki wykazały, że gametofitach mchów pobranych z terenu Karkonoszy zawartość kadmu, rtęci i ołowiu jest istotnie wyższa niż na Islandii, co w znacznym stopniu wynika z narażenia tego terenu na zanieczyszczenia przemysłowe pochodzące z „Czarnego Trójkąta”. Dodatkowo analiza PCCA składowych głównych klasyfikacji wyraźnie podzieliła stanowiska mchów pochodzących z Islandii i Karkonoszy. Dzięki tej analizie Doktorantka mogła wyraźnie wskazać powiązania określonych stanowisk z uzyskanym poziomem zawartości akumulowanych pierwiastków (np. *Pleurozium schreberii* z Islandii ze stanowisk 6, 20, 24, 43-45 wyróżniała najwyższą zawartość chromu, miedzi, kobaltu, żelaza i niklu natomiast z Karkonoszy stanowisko 34 skorelowane było z najwyższą zawartością ołowiu i rtęci). Badania przeprowadzone przez Doktorantkę można by było w przyszłości rozszerzyć o wybrane wskaźniki ekofizjologiczne.

Rozprawa doktorska zakończona jest rozdziałami: „Podsumowanie” i „Wnioski”. Proponuję połączenie tych dwóch rozdziałów w jeden rozdział „Podsumowanie i wnioski. Nie każdy wniosek jest prawdziwym wnioskiem i stanowi bardziej podsumowanie, np. wniosek pierwszy: „*Pleurozium schreberi*, *Racomitrium lanuginosum* i *Sanionia uncinata* z Islandii zawierały istotnie więcej Co, Cr, Cu, Fe i Ni niż te same gatunki z Karkonoszy, natomiast zawartości Cd, Hg i Pb były istotnie wyższe w mchach z Karkonoszy.” Uważam, że pierwsze zdanie w ostatnim wniosku wymaga przeredagowania.

Z obowiązku recenzenta muszę wskazać, że zarówno w rozdziale wyniki, jak i w dyskusji oraz podsumowaniu i wnioskach Doktorantka używa określenia „maksymalne zawartości”, co jest związane z miarami zmienności określającymi granice zmienności danej zmiennej. Wydaje mi się, że dla określonych wyników otrzymanych w toku przeprowadzonych badań bardziej wskazane byłoby użycie określenie „najwyższa”,

„najniższa” zawartość, gdyż inni badacze mogą wyznaczyć w badanym środowisku czy organizmie to minimum i maksimum na innym poziomie.

Po przeanalizowaniu całości dysertacji stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr Marii Kolon-Jaremczak ze względu na kompleksowe podejście do realizowanego tematu prezentuje wartość naukową.

Wśród najważniejszych osiągnięć badawczych Doktorantki należy wskazać:

- przeprowadzenie kompleksowej oceny zawartości Fe, Mn, Zn, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Hg na stanowiskach w rejonie arktycznym i alpejskim przy wykorzystaniu trzech gatunków mchów ektohydrycznych *Pleurozium schreberi*, *Racomitrium lanuginosum* i *Sanionia uncinata*, a także w glebie i skałach.
- wykazanie, że chociaż wszystkie wybrane gatunki to mchy ektohydryczne, to jednak różniące się budową morfologiczną listków. Listki *Sanionia uncinata* są pofałdowane u *Racomitrium lanuginosum* listki posiadają włoski hialinowe, natomiast *Pleurozium schreberi*, nie posiada pofałdowanej powierzchni listków i w przedstawionych badaniach był najslabszym akumulatorem. Również otrzymane współczynniki akumulacji metali (MAI) były najniższe dla *P. schreberii*, co wskazuje, że ogólna zdolność akumulacji pierwiastków u tego gatunku była najniższa. Autorce udało się potwierdzić postawioną we wstępie hipotezę badawczą.
- Analiza głównych składowych i klasyfikacja (PCCA) ujawniła grupy stanowisk – Karkonosze i Islandię różniące się zawartością pierwiastków w gametofitach mchów. Badane gatunki na Islandii z najwyższym stężeniem charakterystyczne były dla stanowisk podlegającym wpływom transportu oraz przemysłu rybnego i aerozolu morskiego, a także ze stanowisk w pobliżu aktywnego wulkanu. Najwyższe poziomy badanych pierwiastków

w Karkonoszach wykazano na powierzchniach na północnym zboczu Czarnego Grzbietu i w pobliżu radiowo-telewizyjnej stacji badawczej.

Jednocześnie pragnę podkreślić, że uwagi przedstawione w recenzji w żaden sposób nie umniejszają wartości merytorycznej całej pracy. Doktorantka dobrze zaplanowała i przeprowadziła swoje badania wnosząc istotny wkład w poznanie zdolności poziomu akumulacji wybranych pierwiastków śladowych przez trzy gatunki ektohydrycznych mchów *Pleurozium schreberi*, *Racomitrium lanuginosum* i *Sanionia uncinata* i wskazanie badanych gatunków do wykorzystania w bioindykacji w regionach tundry arktycznej i alpejskiej.

W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawiona od oceny rozprawa doktorska Pani mgr Marii Kolon-Jaremczak jest oryginalnym rozwiązaniem problemu badawczego i dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych, spełniając tym samym warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w szczególności zgodnie z art. 187 (Dz.U. z 2023 r. poz.742 z późniejszymi zmianami). W związku z tym, zwracam się do Wysokiej Rady Dyscypliny Naukowej Nauki Biologiczne Uniwersytetu Wrocławskiego z wnioskiem o przyjęcie przedstawionej rozprawy i dopuszczenie Pani mgr Marii Kolon-Jaremczak do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.