



Dr hab. Ludwik Żołnierz, prof. UPWr

Wrocław, 12 lipca 2019 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. Macieja Musiała pt. „Wpływ wód opadowych na biogeochemię *Pleurozium schreberi* (Bird.) Mitt. i *Hypnum cupressiforme* Hedw. spod okapu *Picea abies* (L.) i *Betula pendula* Roth”

Promotor: prof. dr hab. Aleksandra Samecka-Cymerman

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy istotnych aspektów problematyki wykorzystania mchów w bioindykacji zanieczyszczeń metalami ciężkimi. Autor badał gromadzenie tych pierwiastków w gametofitach dwóch gatunków mchów pospolicie występujących na dnie lasów. Badania objęły układ: zanieczyszczenia atmosfery – wody opadowe – liście drzew – mchy – gleba. Badane gatunki mchów są szeroko wykorzystywane są w bioindykacji opadu zanieczyszczeń atmosferycznych. Z drugiej strony wiadomo, że zawierające zanieczyszczenia wody opadowe zmieniają swój skład pierwiastkowy przechodząc przez korony drzew jednocześnie wpływając zarówno na zawartości tych pierwiastków w listowiu, jak i ostatecznie w roślinach dna lasu, a w tym naziemnych mchów. Dlatego badania wpływu różnych gatunków drzew na biogeochemię występujących pod nimi mchów, takie jak będące przedmiotem ocenianej rozprawy, mają z pewnością wysoką wartość poznawczą, a także mogą poszerzyć możliwości wykorzystania gatunków brioflory leśnej w bioindykacji opadu zanieczyszczeń atmosferycznych.

Rozprawa obejmuje 49 stron tekstu, wykaz 171 pozycji cytowanej literatury, 10 rysunków i 15 tabel. Utrzymana jest w typowym dla reprezentowanej dziedziny nauki układzie rozdziałów ze „Wstępem”, charakterystyką terenu badań oraz badanych gatunków drzew i mchów, „Metodyką badań”, „Wynikami”, „Dyskusją”, „Podsumowaniem” i „Wnioskami”.

Przedstawione w pracy wyniki *de facto* obejmują szerszy zakres niż sugerowany w tytule, ponieważ Autor dużo uwagi poświęcił również wpływowi przemycania wodami opadowymi liści drzew na ich skład pierwiastkowy, a także zawartościom analizowanych pierwiastków w glebach. Wydaje się, że szerszy tytuł, uwzględniający te pozostałe badane elementy obiegu pierwiastków nie tylko byłby bardziej adekwatny do treści pracy, ale też bardziej by uwydatniał jej znaczenie poznawcze.

Bardzo krótki, ledwie dwustronicowy, „Wstęp” tylko pobieżnie szkicuje problematykę pracy, aczkolwiek zwraca uwagę na jej najistotniejsze elementy. Wymaga to od czytelnika posiadania już pewnej wiedzy w przedmiocie rozprawy. Zawarty w połowie drugiej strony „Wstępu” cel badań nie został edycyjnie wydzielony z treści rozdziału i może ująć uwadze czytelnika. Zapewne lepiej byłoby umieścić go pod koniec rozdziału w bezpośrednim sąsiedztwie zestawionych tam hipotez badawczych.

Hipotezy te zostały sformułowane w przemyślany sposób i precyzyjnie określają zakres badań. Autor założył: (1) istnienie różnic pomiędzy zawartością rozpuszczonych pierwiastków w wodach przechodzących przez listowie drzew i zbieranych poza okapem koron, (2) związek zawartości badanych pierwiastków w mchach z chemizmem wód podokapowych, (3) specyfikę pobierania pierwiastków przez obydwie badane mchy oraz (4) przewagę zawartości metali w obu gatunkach mchów pod okapem *Betula pendula* w porównaniu z rosnącymi pod *Picea abies*. Ostatnia z hipotez sformułowana w czasie przeszłym dokonany robi wrażenie raczej stwierdzonego faktu niż założenia przyjętego przed badaniami. W istocie jeszcze jednym założeniem weryfikowanym w toku badań było istnienie różnic w stopniu zanieczyszczenia badanymi pierwiastkami poszczególnych stanowisk. Sądzę, że byłoby celowe jego uwzględnienie w wykazie hipotez.

W porównaniu ze „Wstępem” bardzo obszerny jest rozdział „Fizjografia terenu badań”. W częściach poświęconych geologii, rzeźbie terenu, glebom i klimatowi w pewnym stopniu zaznacza się przemieszanie informacji istotnych z mniej ważnymi w kontekście problematyki pracy. Na przykład trudny do uchwycenia jest związek z materiałą badań liczby teras występujących w dolinach Odry i jej dopływów. Korzystne wrażenie wywołuje obszerna charakterystyka stanowisk badawczych. Autor wyznaczył siedem stanowisk, które w oparciu o doniesienia z literatury uznał za zróżnicowane pod względem wielkości opadu zanieczyszczeń pyłowych zawierających badane metale ciężkie. Opisy stanowisk szczegółowo charakteryzują lokalizacje, szeroko pojęte warunki siedliskowe, główne gatunki poszczególnych warstw leśnych zbiorowisk roślinnych, a także wskazują potencjalne źródła immisji zanieczyszczeń niosących badane pierwiastki. Tu jednak pewne wątpliwości rodzi sugerowany *a priori* wpływ emisji z terenu Wrocławskiego Parku Przemysłowego na usytuowane 10 km na zachód stanowisko I oraz oddalonej o 800 m autostrady A4 na stanowisko III. Nie można wykluczyć istotności tych wpływów, jednak sądzę, że weryfikacja takich założeń wymagałaby przeprowadzenia badań w skali lokalnej.

Kolejny, trzeci rozdział zawiera informacje o biologii i ekologii badanych gatunków drzew i mchów. Zostały one przedstawione szeroko i wyczerpująco z wykorzystaniem licznych źródeł literaturowych. Opisy dotyczą cech istotnych dla problematyki pracy i poza kilkoma niejasnymi sformułowaniami i drobnymi potknięciami językowymi nie budzą zastrzeżeń.

W rozdziale 4 „Metodyka badań” szczegółowo opisane zostały procedury zbioru prób w terenie, przygotowania do analiz prób wód, gleb i roślin, oznaczeń i wreszcie analizy danych. Lektura rozdziału pozostawia czytelnika pod dużym wrażeniem głęboko przemyślanego planu badań, adekwatności zastosowanych metod i dbałości o rzetelność uzyskanych wyników.

Rozdział 5 „Wyniki” obejmuje cztery podrozdziały poświęcone результатам analiz dotyczących kolejno: chemizmu wód opadowych, właściwości fizyko-chemicznych gleb, zawartości badanych pierwiastków w liściach drzew i na koniec koncentracji metali w gametofitach obu badanych mchów.

We wszystkich podrozdziałach porównywane są wyniki uzyskane na stanowiskach mniej i bardziej zanieczyszczonych. Te dwie kategorie stanowisk zostały wyróżnione w toku przeprowadzonej aglomeracyjnej analizy skupień, z zastosowaniem miary odległości Manhattan w oparciu o zawartości pierwiastków w obu gatunkach mchów zbieranych z otwartej przestrzeni. Dyskusyjne wydaje mi się przedstawienie wyników tej analizy w rozdziale „Metodyka badań” przy całkowitym pominięciu ich w rozdziale „Wyniki”. Problematyczne mogłoby się wydać również łączne potraktowanie w analizie skupień zawartości pierwiastków w obu gatunkach mchów. Takie podejście uzasadnione jest przez podobieństwo wyników analiz głównych składowych i klasyfikacji PCCA porządkujących stanowiska na tle zawartości pierwiastków w obu gatunkach mchów, które zostały przedstawione na rysunkach 9 i 10, ale opisane i zinterpretowane dopiero w rozdziale „Dyskusja”.

Autor na stanowiskach z terenów zanieczyszczonych wykazał istotny wpływ przenikania przez korony świerka na chemizm wód opadowych w odniesieniu do pięciu z badanych pierwiastków oraz brak takiego wpływu w wypadku brzozy. Nie stwierdził natomiast istotnych statystycznie różnic w zawartościach badanych pierwiastków w wodach spod okapu koron świerka ze stanowisk zanieczyszczonych i czystych. Również na terenach niezanieczyszczonych wpływ koron świerka na zawartości większości pierwiastków okazał się silniejszy w porównaniu z brzozą.

Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice pomiędzy próbami wód spod okapu koron świerka dla terenów zanieczyszczonych i czystych. W tej sytuacji zbędne wydają się rozważania na temat najwyższych zawartości pewnych pierwiastków na stanowisku koło autostrady i innych w okolicach Wrocławia czy huty w Legnicy.

W badaniach składu pierwiastkowego gleb zaznaczył się silniejszy wpływ przenikania przez korony obu gatunków drzew na terenach zanieczyszczonych w porównaniu ze stanowiskami z obszarów czystych. Autor stwierdził ogólnie istotnie wyższe zawartości badanych pierwiastków pod okapem koron obu gatunków drzew, ale też z przestrzeni otwartych na stanowiskach zanieczyszczonych w porównaniu z niezanieczyszczonymi. W tabeli 5 zostały zestawione wyniki testu U Manna Whitneya porównującego zawartość pierwiastków oraz pH w glebach pod okapem

koron brzozy i świerka oraz z otwartej przestrzeni pomiędzy stanowiskami mniej i bardziej zanieczyszczonymi. Brak opisu wierszy tabeli uniemożliwia jednak czytelnikowi interpretację wyników.

W kolejnym podrozdziale opisane zostały wyniki analiz zawartości badanych pierwiastków w liściach brzozy i igłach świerka. Gatunki różniły się stopniem gromadzenia części pierwiastków, przy czym działa się to w odmienny sposób na stanowiskach zanieczyszczonych i niezanieczyszczonych. Autor na podstawie obliczonych wartości współczynnika wymywania i retencji NTF (net throughfall fluxes) stwierdził, że u obu gatunków i na wszystkich stanowiskach zachodzi wzbogacenie opadu badanych pierwiastków (z wyjątkiem kobaltu na terenach zanieczyszczonych) po przejściu wód opadowych przez korony.

Najobszerniejszy podrozdział prezentuje wyniki badań zawartości pierwiastków w mchach. Autor szczegółowo zreferował istotne statystycznie różnice w całej gamie możliwych porównań: pomiędzy gatunkami pod i poza okapem dwóch gatunków drzew oraz na stanowiskach zanieczyszczonych i niezanieczyszczonych. Rozmaitość tych wyników dotycząca różnych konfiguracji badanych pierwiastków wymaga od czytelnika silnej koncentracji uwagi. Pewnej generalizacji pozwalającej dostrzec część ogólnych prawidłowości, jednak tylko tych dotyczących otwartych przestrzeni, bez wpływu listowia drzew, dostarcza analiza głównych składowych i klasyfikacji PCCA, której wyniki dla obu gatunków mchów przedstawiono na diagramach (rys. 9 i 10). Jednak – jak już wcześniej wspomniałem – opis i interpretacja wyników tej analizy pojawia się dopiero w rozdziale „Dyskusja”. Bardzo ciekawą i udaną próbą uogólniającej interpretacji wpływu wód podokapowych na skład pierwiastkowy mchów jest analiza regresji poszerzona o analizę kowariancji odnoszącą się do wartości współczynników nachylenia i przecięcia linii regresji. Autorowi udało się wykazać istotność wpływu zawartości miedzi w wodach podokapowych na koncentracje tego metalu w gametofitach obu gatunków mchów przy szybszym tempie jego pobierania przez *Pleurozium schreberi*. Również analogiczny model dla manganu wykazał istotność zawartości tego pierwiastka w wodach podokapowych przy wyższym jednak podobieństwie stopnia gromadzenia przez obydwa gatunki mchów.

„Dyskusja” jest najobszerniejszym rozdziałem rozprawy. Jej układ nawiązuje do poprzedniego rozdziału, tak więc kolejno są dyskutowane zagadnienia chemizmu wód opadowych, a następnie zawartości badanych pierwiastków w glebach, liściach drzew i gametofitach mchów. Na każdym z tych etapów obiegu materii szeroko przedstawione zostały podawane w literaturze zakresy koncentracji poszczególnych pierwiastków typowe dla obszarów niezanieczyszczonych i tych poddanych różnym rodzajom antropopresji. Autor wskazuje możliwe źródła emisji zanieczyszczeń zawierających badane pierwiastki na obszarze badań sugerując istotny wpływ aglomeracji wrocławskiej, oddziaływania huty miedzi w Legnicy i autostrady A4. Sądzę, że nie można wykluczyć istotnego oddziaływania tych trzech potencjalnych źródeł zanieczyszczeń, jednak te sugestie mają tu spekulatywny charakter, ponieważ przedstawione wyniki nie dają jednoznacznych podstaw do ich przyjęcia. Z pewnością natomiast dają podstawy do planowania badań określających w ścisły sposób zakres oddziaływania tych źródeł.

Autor wykorzystał bardzo szerokie spektrum źródeł literaturowych z dużym udziałem pozycji z ostatnich lat, ale również sięgając do znaczących artykułów z poprzednich dekad. We wnikliwy i przekonujący sposób interpretowane są zjawiska obserwowane w toku badań. Na przykład zwrócona została uwaga na wyższy wskaźnik powierzchni liści świerka w porównaniu z brzozą, jako możliwą przyczynę większego wzbogacania przez ten gatunek w pierwiastki wód podopopowych. Rozdział napisany jest w sposób interesujący, przykuwający uwagę czytelnika.

Tekst rozprawy kończą krótkie „Podsumowanie” i „Wnioski”. Te ostatnie są bardzo lakoniczne i w części mijają się z hipotezami badawczymi zestawionymi na końcu „Wstępu”. Czytelnik musi zatem wrócić do „Wyników”, żeby dowiedzieć się, czy przyjęte hipotezy zostały pozytywnie zweryfikowane.

Wymienione przeze mnie powyżej niedociągnięcia mają niemal wyłącznie charakter redakcyjny i nie dotyczą naukowej istoty ocenianej rozprawy doktorskiej. Do wartych wspomnienia uwag dotyczących redakcji pracy należą:

1. „Wstęp” – zawiera tylko dwa akapity. Ten drugi obejmuje niemal 1.5 strony. Traci na tym klarowność wyводу i gubi się cel badań.

2. Pominięcie części wyników w poświęconym im rozdziale i przeniesienie do „Dyskusji”.
3. Częste używanie tylko inicjału nazwy rodzajowej gatunku (poza czterema badanymi) w znacznym oddaleniu od użytej już pełnej formy lub nawet w oderwaniu od niej, co może utrudniać lekturę.
4. Rysunki 3, 4, 7 i 8 – wskazane byłoby zaznaczenie grup jednorodnych w celu pokazania istotnych statystycznie różnic pomiędzy medianami.
5. Tabela 5 – pominięte opisy wierszy.
6. Liczne błędy, tzw. literówki, zdarzają się również gramatyczne (niezgodność końcówek wyrazów), a także ortograficzne, co wskazuje na mało uważne sprawdzenie gotowego tekstu.

Wszystkie wymienione niedostatki mogą być łatwo wyeliminowane w toku przygotowania materiału do publikacji w czasopiśmie naukowym, na co recenzowana rozprawa w moim przekonaniu zasługuje. Wysoko oceniam jej wartość naukową, a do głównych jej zalet i osiągnięć zaliczam:

1. Całościową analizę obiegu pierwiastków w układzie zanieczyszczenia atmosfery – wody opadowe – liście drzew – mchy – gleba. Takie holistyczne podejście często jest pomijane w podobnego rodzaju badaniach z użyciem gatunków występujących w niższych warstwach leśnych zbiorowisk roślinnych, co – a dowodzi tego niniejsza rozprawa – może znacząco obniżać jakość wniosków wyciąganych z badań.
2. Dogłębne przedstawienie specyfiki modyfikacji chemizmu wód opadowych przez listowie badanych gatunków drzew oraz różnorodnych i specyficznych reakcji gatunków mchów w odniesieniu do różnych pierwiastków.
3. Stworzenie solidnych podstaw do dalszych badań pogłębiających rozpoczęte wątki.

W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa mgr. Macieja Musiała wnosi oryginalny i wartościowy wkład do poznania problematyki gromadzenia metali ciężkich przez mchów *Pleurozium schreberi* i *Hypnum cupressiforme* w ekosystemach leśnych, a tym samym ma istotne znaczenie naukowe. Jestem

przekonany, że rozprawa ta odpowiada wymogom stawianym dysertacjom doktorskim zgodnie z przepisami ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.) oraz wnoszę o dopuszczenie pana mgr. Macieja Musiała do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ludwik J. Trzeciecki