

Rzeszów, 10.07.2019

dr hab. Paweł Czarnota, prof. URz
Katedra Ekologii i Monitoringu Środowiska
Wydział Biologiczno-Rolniczy
Uniwersytet Rzeszowski
Ul. Ćwiklińskiej 2
35-601 Rzeszów

Ocena pracy doktorskiej mgr Sylwii Kiercul
**Modelowanie wpływu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na kondycję
plech porostów**

Wykonanej w Katedrze Inżynierii Rolno-Spożywczej i Kształtowania Środowiska
Politechniki Białostockiej

Przedstawiona mi do oceny praca doktorska Pani mgr Sylwii Kiercul jest nowatorską w Polsce próbą badań lichenoindykacyjnych, w której wnioskowanie o warunkach ekologicznych środowiska miejskiego jest wsparte modelowaniem matematycznym mającym przedstawić relacje przyczynowo-skutkowe, warunkujące optymalne warunki do rozwoju plech testowanego porostu – *Hypogymnia physodes*. Składa się z kilku rozdziałów z licznymi podziałami treści niższych rzędów, zapoczątkowanych krótkim wstępem z dobrze zdefiniowanymi, kilkoma hipotezami roboczymi i stawianymi przed pracą celami. Drugi rozdział przedstawia najpierw założenia teoretyczne i możliwości wykorzystania sieci bayesowskich w różnorodnych badaniach przyrodniczych i możliwości implementacji modelowania matematycznego w analizie wpływu naturalnych i antropogenicznych czynników środowiskowych na rozwój organizmów, w tym porostów. Następnie autorka przedstawia skrótowo rys historyczny badań lichenoindykacyjnych poczynając od skąpych wiadomości na temat wykorzystywania metody opartej o skład bioty i formy morfologiczne porostów. Dalej opisano warianty metodyczne i przypadki stosowania transplantacji plech porostów w badaniach monitoringowych, niesłusznie chyba podnosząc stosowanie tej techniki ekspozycji plech porostów służącej różnym metodom lichenoindykacyjnym do rangi samej metody. Propozycja nowego, kompilacyjnego ujęcia metod lichenoidykacyjnych (z uwzględnieniem transplantacji plech) zaproponowana przez samą autorkę pojawia się na kolejnych stronach dysertacji. Pomimo, że kluczem do zaproponowanego podziału jest pasywny lub aktywny charakter monitoringu, to propozycja budzi nieco kontrowersji zarówno co do traktowania samej transplantacji jako

kompletnej metody badawczej, co do koncepcji bioreakcji jako synonimu metod fizjologicznych, tak jakby wyróżniona przez autorkę metoda analizy żywotności plech nie była odzwierciedleniem reakcji anatomicznych i morfologicznych plech na czynnik stresowy, ale także niepełnego lub niepoprawnego wskazania kryteriów odpowiadających wyróżnionym metodom (przykład, to analiza fitosocjologiczna w metodzie gatunków wskaźnikowych – należałoby wyjaśnić co autorka miała na myśli, czy analiza cech morfologicznych wskazana tutaj do wyznaczenia wskaźnika IAP, który z założenia oparty jest o inne kryteria). Nie stosuje się także metod w celu stwierdzenia potrzeby tworzenia map lichenoindykacyjnych, lecz po to by je tworzyć, a sam indeks IAP nie odzwierciedla tylko stopnia czystości atmosfery, lecz kompleks czynników ekologicznych determinujących różnorodność, stałość i obfitość bioty porostowej, w którym zanieczyszczenia są jednym z tych czynników. Metody pasywne wg autorki mają także informować o wskaźniku naturalności lasów – nie rozumiem intencji doktorantki i proszę o wyjaśnienie. Generalnie termin „metoda” przy prezentacji różnych metodologii oceny stanu czystości atmosfery z wykorzystaniem porostów jest w tekście nadużywany. Autorka sugerując pewne rozwiązania problemów bioindykacji, np. potrzebę obiektywizacji wyników, jak i wspomniany autorski podział metod lichenoindykacyjnych, dokonuje swoistej oceny dotychczas stosowanych metod, co stanowi domenę dyskusji w pracach naukowych a nie wprowadzenia w problematykę badań. Szkoda, że w ujęciu historycznym nie wspomniano o pierwszej propozycji kompilacji szerokiego wachlarza metod lichenoindykacyjnych w Polsce, przedstawionej przez Czarnotę (Czarnota P. 1998. *Porosty jako indykatory zanieczyszczenia środowiska - Przegląd metod lichenoindykacyjnych*. Przegl. Przyrod. IX(1/2), 55-72), która stała się mocno zaadoptowanym pierwowzorem dla następnych klasyfikacji badań monitoringowych z wykorzystaniem porostów (patrz Kłos 2007). Następnie autorka poświęca podrozdział krótkiemu, ogólnemu omówieniu rodzajów, źródeł i skutków biologicznych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego z uwzględnieniem tych pierwiastków i związków, które są przedmiotem badań w dysertacji. Szkoda, że przy tej okazji nie wskazano na źródła tych zanieczyszczeń w samym Białymstoku, co pozwalałoby odnieść się do wykazanych w pracy rezultatów akumulacji badanych pierwiastków i związków chemicznych w plechach porostu testowego. Autorka miejscami miesza w tekście nazwy pierwiastków, co czytelnika zastanawia, o skutki działania którego z nich w istocie chodzi (str. 29 w części poświęconej cynkowi mówi o skutkach niedoboru miedzi u roślin; w części poświęconej ołowiu mówi o skutkach niedoboru cynku u człowieka).

Na stronie 32 rozpoczyna się niepotrzebny moim zdaniem w takiej formie rozdział poświęcony ogólnej charakterystyce porostów, pod dość niefortunnym tytułem „Obiekt badań”. Termin ten kojarzy się raczej z obszarem, powierzchnią i lepszy byłby tytuł „Przedmiot badań” lub „Materiał badań”. Istotniejsze jest jednak to, że w rozdziale tym, który zaczyna się od dość lapidarnie przedstawionego zagad-

nienia symbioz porostowych i charakterystyki form rostowych porostów, występuje wiele błędów merytorycznych i nomenklatorycznych, wynikających być może z oparcia się o popularnonaukowe opracowania prezentujące starsze poglądy na systematykę i istotę porostów (głównie Wójciak 2003; wyróżnianie Ascomycota w randze typu (obecnie gromada), rzędu Lecanoromycetes – klasa, podtypu Pezizomycotina – podgromada, potraktowanie Cyanobakterii jako glonów, sugerowanie jakoby grzyby lichenizujące mogły żyć i odżywiać się samodzielnie poza związkiem symbiotycznym, błędy w nazewnictwie taksonów, wynikające z niestosowania kodeksu nomenklatorycznego, nazywania struktur pomnażania wegetatywnego zdefiniowanym w biologii terminem „organy”, używania określenia „epiksylity” zamiast epiksyle, stosowania w nazewnictwie polskim gatunków dużych liter. Ze względu na tematykę pracy doktorskiej i instrumentalne potraktowanie plech jednego tylko gatunku testowego porostu, jako przedmiotu badań lichenindykacyjnych, wskazany byłby raczej głębszy przegląd literatury dotyczący wykorzystania *Hypogymnia physodes* w ocenie stanu środowiska, możliwości kumulacyjnych gatunku i skutków, i mechanizmów oddziaływania polutantów na struktury plechowe analizowane w pracy doktorskiej.

W kolejnym rozdziale doktorantka przedstawia lokalizację stanowisk badawczych, zasady ich wyboru, podając przy tym podstawowe charakterystyki warunków meteorologicznych niezbyt fortunnie chyba utożsamiając warunki panujące w Puszczy Knyszyńskiej do tych, z jakimi mamy do czynienia w specyficznym jednak klimacie dużego miasta, jakim jest Białystok. Jest to tym bardziej niezrozumiałe, że jak wykazuje później, na terenie miasta znajdują się trzy stacje meteo. Wykorzystane jednak do późniejszych analiz zależności dane meteorologiczne nie wiadomo czy są uśrednionymi z tych trzech stacji kwartalnymi wartościami temperatur powietrza, sumy opadów, wilgotności względnej powietrza i prędkości wiatrów, czy jest to wynik pomiarów jednej ze stacji, a jeśli tak, to której?

Wybór lokalizacji stanowisk badawczych, w których transplutowano plechy *H. physodes* i ich bezwzględny podział na te, które mają monitorować wpływ zanieczyszczeń liniowych (pochodzących z emisji komunikacyjnych) i punktowych (pochodzących z dużych, punktowych emitatorów – dwóch elektrociepłowni) na stan zdrowotny plech gatunku testowego i kumulację w nich wybranych zanieczyszczeń atmosferycznych budzić może zasadnicze kontrowersje, mające swoje konsekwencje w interpretacji wyników. Pewnym wytłumaczeniem jest fakt, że doktorantka korzysta w tej materii z przykładu publikowanych wcześniej prac, niemniej trudno się zgodzić, żeby wszystkie stanowiska badawcze były rozmieszczone regularnie co 5, 10 i 15 km, jak założono w metodyce, podobnie jak niemożliwym jest ograniczenie oddziaływania tzw. zanieczyszczeń liniowych tylko do wybranych stanowisk przy szlakach komunikacyjnych, a zanieczyszczeń tzw. punktowych tylko do stanowisk eksponowanych poza ścisłym centrum transportowym miasta. Zakładana regularność rozmieszczenia tych stanowisk co 5, 10 i 15 km od emitatora nie odpowiada rzeczywistości (wg proporcji odległości na nieskalowanej mapie stanowisk),

a rezultaty badań zaburza wspólne oddziaływanie na stanowiska badawcze obu emitorów. Szczególnym przypadkiem jest umiejscowienie stanowisk 6, 7, 8, które z założenia miały reprezentować wpływ elektrociepłowni Białystok S.A., w bliskości z elektrociepłownią Zachód, a stanowiska 16, w transekcje przeznaczonym dla oceny oddziaływania elektrociepłowni Zachód, w niedalekiej odległości od Elektrociepłowni Białystok. Biorąc za normę dla lokalizacji stanowisk zapisy Rozporządzenia MŚ w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U z 2018 r. poz. 799) jako aktu wykonawczego do Ustawy Prawo ochrony środowiska, autorka kieruje się intuicją, wyznaczając sobie pułapy odległości od źródeł emisji i wysokości ekspozycji transplantomanych plech w zależności od dostępności. Wyjaśnienia przez doktorantkę wymaga co najmniej kilka z przyjętych kryteriów lokalizacji stanowisk badawczych: 1) dostępność stanowiska i dokonywanie poboru próbek określonych substancji zanieczyszczających powietrze atmosferyczne, które z założenia miałyby eliminować wpływ tzw. emisji niskiej (czyżby na ostatecznie wybranych stanowiskach nie było oddziaływania emisji niskiej?), 2) usytuowanie stanowiska pomiarowego w pobliżu instalacji (co miałyby oznaczać to poblizsze?), 3) położenie prób na wysokości 1,5 do 4,0 m nad poziomem gruntu (czy dowolność wyboru tej wysokości nie wpływa na wynik, zarówno w odniesieniu do zmian morfologicznych, anatomicznych jak i zdolności kumulacyjnych plech porostu testowego?), 4) ilość emitowanych przez źródła liniowe i punktowe substancji zanieczyszczających powietrze (tzn. jaka ilość nie może lub musi być przekroczona?).

Kolejna część metodyczna zawiera prezentację wybranych do badań metod i technik; przy czym oba te pojęcia zdają się mieszać, uznając transplatację plech porostów za odrębną metodę lichenoindykacyjną, a metodę bioreakcji za odpowiednik badań analitycznych z użyciem specjalistycznego sprzętu do oceny stężenia wybranych pierwiastków i związków toksycznych. Autorka używa ogólników typu „część prób”, ostatecznie nie informując czytelnika ile plech transplantomano na stanowisku i ile, i wg jakich kryteriów podlegało ocenie makroskopowej, czyli tzw. ocenie kondycji. Zasadność podziału transplantomów na trzy klasy degradacji plech nie jest także jasna i nie wiadomo czemu miałyby służyć, zakładając, że ocena zmian morfologicznych była jednak prowadzona precyzyjnie w oparciu o określenie procentowej powierzchni zmian, a nie stosowaniu podziału na brak uszkodzeń, uszkodzenia do 50% i uszkodzenia powyżej tej wartości. Zwraca uwagę moją także fakt, że precyzja określenia wskazanych do oceny zmian morfologicznych nie zawsze jest możliwa, bowiem deformacje, takie jak zniekształcenia brzegów rozet, wymagałyby odniesienia do jakiegoś wyimaginowanego wzorca plechy, który w zależności od zmiennych środowiskowych mógłby być inny. Mówiąc o kondycji plech i ogólnych zmianach morfologicznych (degradacji rozet), które są później przedmiotem analizy, nie sprecyzowano sposobu ich oceny, tj. zliczania udziału wyróżnionych uszkodzeń czy konieczności wystąpienia wszystkich łącz-

nie, chyba, że właśnie te trzy wymienione wyżej przedziały degradacji są tymi kryteriami. Nie wspomniano także o dokładności takiej oceny uszkodzeń: do 1%?, do 5% powierzchni plech?, czy jeszcze większy margines tolerancji?

Metodyka poboru materiału do badań anatomicznych jest także mało precyzyjna; określa jedynie, że pobór następował losowo z czterech miejsc na wybranych plechach (dwa wycinki ze środka plech i dwa z obrzeży). Jeśli wybrany, to nie był to pobór losowy. Jakie były zatem kryteria wyboru i z ilu transplantowanych plech wybierano te wycinki? Czy nekrozy i przebarwienia nie wpływały sugestywnie na wybór miejsca? Czy taka ilość pobrań oddaje zmienność tej cechy? Kolejne pytanie, w jaki sposób oceniano żywotność komórek glonowych w preparacie; jak je odróżniano?

Metody laboratoryjne zwane przez autorkę zamiennie chemicznymi, gdzie indziej z kolei chemo-metrycznymi czy metodą bioreakcji opisywane są w kolejnym podrozdziale traktującym o wymaganiach metodycznych i stosowanym sprzęcie niezbędnym do oceny stężenia analizowanych związków i pierwiastków. Podobnie jak w poprzedniej części, także tutaj pojawia się niewyjaśnione pojęcie losowości poboru próby do analiz chemicznych. Czy próba nie była 0,5 g zmieloną naważką ze wszystkich transplantowanych plech, czy też najpierw odebrano część plech do wagi 0,5 g, a potem je dopiero zmielono? Proszę o wyjaśnienie? Czy szacowano błąd próby i błąd pomiaru?

Kolejny podrozdział części metodycznej dotyczy statystycznej analizy wyników, teoretycznych podstaw stosowania modelu matematycznego w postaci sieci bayesowskiej oraz konstrukcji bazy danych wykorzystanej w procesie modelowania. Z pewnością przez pomyłkę autorka włączyła do danych anatomicznych koncentrację siarki i metali ciężkich, a do danych laboratoryjnych czynniki meteorologiczne. Kwartał badań jako czynnik oddziałujący na porosty nazwałbym raczej okresem ekspozycji. Metody statystycznej analizy wyników nie budzą zastrzeżeń.

Obszerny rozdział „Wyniki badań” (str. 54–173) zawiera szczegółowe przedstawienie rezultatów badań zmiennych (meteorologicznych, chemicznych, biologicznych) w kwartalnych przedziałach czasowych w analizowanym okresie 2014–2015(–2017), które w większości zostały ostatecznie włączone w modelowanie matematyczne z wykorzystaniem stosownego programu. Ono z kolei miało pokazać związki przyczynowo-skutkowe pomiędzy nimi, w szczególności te, które determinują żywotność transplantowanych plech, jako odzwierciedlenie optymalnych w warunkach Białegostoku uwarunkowań dla występowania porostów, a tym samym oceny warunków ekologicznych miasta. Wstęp do tego rozdziału jest niepotrzebnym powtórzeniem zakresu analizowanych zmiennych, wskazanych już w metodyce, a następujący w kolejności początek podrozdziału „Charakterystyka warunków meteorologicznych” zaczyna się od podsumowania, będącego wynikiem późniejszych szczegółowych analiz zawar-

tych w wielu kolejnych podrozdziałach; od razu przedstawia najistotniejsze korelacje i zależności pomiędzy czynnikami meteorologicznymi a niektórymi rodzajami zmian morfologicznych i anatomicznych plech zanim jeszcze czytelnik zostanie zaznajomiony z wynikami pomiarów i analizą tych zmiennych, a także z niewiadomych powodów w tym miejscu podsumowuje uśrednione wyniki kwartalnych zmian morfologicznych i anatomicznych transplantowanych plech. Kolejne podrozdziały przedstawiają w szczegółach właśnie te relacje, jako wyniki analizy korelacji i regresji pomiędzy ocenianymi zmiennymi meteorologicznymi i cechami plech.

Interesujące są wyniki bezpośrednich korelacji, które wskazują, że wzrost wilgotności względnej powietrza stymuluje poziom uszkodzeń plech porostu testowego w postaci wybieleń (chloroz), jako być może pierwszego, zauważalnego makroskopowo objawu degradacji środowiska przy wykorzystaniu porostów jako bioindykatorów. Byłoby to zgodne z powszechnie przyjętym poglądem, że wzrost wilgotności powietrza wpływa na stan uwodnienia i aktywności fizjologicznej plech przy jednoczesnym wzroście chemicznej aktywności rozpuszczonych w wodzie substancji toksycznych obecnych w powietrzu. Jednocześnie wzrost sumy opadów nie pociąga za sobą podobnych zmian morfologicznych, przeciwnie, jedyna relacja jaka została względem tej zmiennej wykazana na podstawie przedstawionych dostępnych danych, to ujemna korelacja z wielkością plam nekrotycznych. Być może za taki wynik odpowiada 3-miesięczny okres ekspozycji transplantowanych plech, podczas gdy w dłuższej perspektywie czasowej inne objawy zmian morfologicznych i anatomicznych tych samych plech nabrałyby większego znaczenia indykacyjnego.

Od podrozdziału „Transplantacja plech porostu *Hypogymnia physodes* w ocenie makroskopowej (zmiany morfologiczne plech)” rozpoczyna się żmudny w odbiorze proces prezentacji szczegółowych wyników oceny wybranych cech morfologicznych w okresach kwartalnych oddzielnie dla kolejnych lat badań. Znamienne jest, że kolejne lata różnią się zestawem danych wynikających z niejednorodnej puli stanowisk. Tym samym analizy nie mogą odzwierciedlać w pełni oddziaływania wszystkich czynników; przykładem jest zbiór danych w roku 2014 ze stanowisk zlokalizowanych tylko po stronie nawietrznej w stosunku do dominujących w regionie wiatrów, podczas gdy w roku 2015 mamy do czynienia z pełną pulą zmiennych meteorologicznych. Zasadnicze pytanie jednak brzmi: czym są w istocie analizowane zmiany morfologiczne i czemu odpowiadają uśrednione wyniki poddane analizom statystycznym. Z kontekstu opisów tych analiz można się domyśleć, że chodzi o procent uszkodzeń plech, lecz jeśli tak, to procent uszkodzeń względem powierzchni wszystkich transplantowanych plech na stanowisku?, względem powierzchni z góry ustalonej liczby tych plech wybranych losowo lub subiektywnie do oceny? Doktorantka stosuje jako podstawowe narzędzie analizy statystycznej jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA wskazując w ten sposób, która z trzech analizowanych zmiennych, tj.: okres ekspozycji plech (kwartał), źródło emisji (liniowe vs punktowe) i odległość od emitora (przy czym emitorem

odpowiadają także skażenia liniowe badane na wytypowanych skrzyżowaniach) istotnie wpływa na badaną cechę morfologiczną lub anatomiczną, czy też poziom skumulowanych pierwiastków i związków. Często zależności te w tego typu ocenie są istotne, lecz o wyniku zwykle decyduje próba kontrolna zlokalizowana ok. 50 km od centrum miasta, w rozległym kompleksie leśnym, gdzie siłą rzeczy wpływ czynników stresowych dla plech porostu testowego jest zminimalizowany. W takiej sytuacji ważnym dla oceny lichenindykacyjnej narzędziem analitycznym zastosowanym przez autorkę dysertacji staje się test post hoc Tukeya do porównań wielokrotnych.

Jednym ze stałych punktów pracy jest graficzna wizualizacja rozkładu analizowanych zmian morfologicznych, anatomicznych i stężeń kumulowanych w plechach pierwiastków z wykorzystaniem oprogramowania bazującego na interpolacji danych w punktach badawczych przedstawionej w postaci izolinii. Budzi moją wątpliwość zasadność użycia tego narzędzia do prezentacji wyników, w takim jak tu przypadku badawczym, opartym o niewielką ilość nieregularnie rozmieszczonych stanowisk, a przede wszystkim włączanie do analizy danych ze stanowiska kontrolnego, co znacząco wypacza prawdopodobny przestrzenny rozkład analizowanych cech. Spośród wielu pytań, które nasuwają się podczas analizowania tekstu dysertacji w części poświęconej analizie statystycznej i prezentacji wyników można przytoczyć następujące: jaką np. informację daje nam wynik testu Tukeya mówiący o tym, że różnica wielkości wybieleni (co znaczy wielkości?) jest istotna statystycznie pomiędzy emitorem punktowym w III kwartale a emitorem liniowym w II kwartale? Pomijając używane często i niekiedy dziwnie brzmiące skróty myślowe (np. średnie kwartalne plamy nekrotyczne), które definiują udział badanych uszkodzeń i stężenie pierwiastków w plechach na stanowiskach badawczych wydaje się pewne, że na różnice te wpływa szereg odmiennych uwarunkowań, które dopiero podczas modelowania matematycznego z wykorzystaniem wszystkich danych zostaną poddane analizie siły związku przyczynowo-skutkowego. Ten przykład podkreśla znaczenie takiej wieloczynnikowej analizy właściwie zaprojektowanej sieci bayesowskiej, która finalnie może zadecydować o wartości tej pracy doktorskiej.

Od strony 87 rozpoczyna się prezentacja wyników uzyskanych w roku 2015, w którym rozszerzono liczbę stanowisk badawczych (miejsc ekspozycji transplantomowanych plech *H. physodes*) do 21, włączając w to stanowiska rozlokowane po stronie zawiętrznej miasta i przy trzech stacjach pomiarowych WIOŚ. Pomimo, że stanowiska zwane w pracy „stacjami pomiarowymi” są ulokowane wewnątrz miasta, autorka zakwalifikowała je do odrębnej kategorii celem porównań z poprzednio wyróżnionymi, tak jakby były odzwierciedleniem wpływu na plechy innego rodzaju zanieczyszczeń niż punktowe lub liniowe. Proszę o wyjaśnienie tej koncepcji prowadzenia analizy. Niezrozumiałym jest dla mnie także, dlaczego liczba „n” prób reprezentujących emitery punktowe wykazywana w tabelach 22, 25, 28, 31, 34, 37 wynosi dla tzw. emitorów punktowych 59 a dla stacji pomiarowych 9, skoro analizowano dane

mające z założenia charakteryzować wpływ 14 emitorów punktowych i 3 stacji pomiarowych w ciągu 4 kwartałów. Jaki to miało wpływ na ostateczne wyniki analiz statystycznych?

Podobnie jak dla roku 2014 także dla sezonów badawczych w latach 2015-2017 autorka stosuje ten sam schemat analizy i prezentacji wyników wzbogacając bazę danych o stężenia skumulowanych pierwiastków: Cd, Pb, Zn i S w transplantowanych plechach *H. physodes* i wykazując często istotny wpływ oddziaływania odległości od źródła emisji na kondycję plech tego gatunku testowego. Najczęściej jednak przyczyną tej istotności było włączenie do analizy wariancji wyników z punktu kontrolnego, podczas gdy rozkład badanych cech określających degradację plech na terenie samego miasta i okolic był często bardziej jednorodny z niejednokrotnym wskazaniem na większy stopień oddziaływania zanieczyszczeń wraz z oddalaniem się od źródła emisji, zwłaszcza w kierunku nawietrznym, co pozostaje w sprzeczności z logicznym wydawałoby się wywodem, że to wiatry są zasadniczą przyczyną kierunkowego rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Na stronie 111 rozpoczyna się część poświęcona ocenie zmian morfologicznych transplantowanych plech przeprowadzona w okresie od połowy roku 2016 do połowy roku 2017. Moje pytanie brzmi: po co? Czy te wyniki zostały także włączone do procesu wnioskowania bayesowskiego? Dlaczego tylko dwa stanowiska, w tym jedno kontrolne? Dlaczego wybór tych stanowisk musiał być skorelowany ze stanowiskami służącymi ocenie kumulacji w plechach wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych”?

Kolejny podrozdział dotyczy prezentacji i analizy wyników oceny zmian anatomicznych (przeżywalności komórek glonowych) w plechach *H. physodes* w latach 2014 i 2015. Strukturą i sposobem prezentacji oceny ten fragment pracy przypomina wcześniejsze podrozdziały z analizą zmian morfologicznych. Podobnie jak poprzednio nasuwają mi się analogiczne, zadane już powyżej w recenzji pytania. Znamienne jest, że podobnie jak dla części zmian morfologicznych, także tzw. kondycja anatomiczna plech spada wraz ze wzrostem odległości od emitora punktowego przeciwnie do kierunku dominujących wiatrów. Wykazana testem ANOVA istotność różnic między średnimi liczbami żywych komórek w plechach eksponowanych w różnych odległościach od emitorów jest podobnie jak dla zmian morfologicznych efektem włączenia do analizy wyników próby kontrolnej, która zachowała kondycję anatomiczną na naturalnym, wysokim poziomie. Test Tukeya jest jak najbardziej prawidłowy do rozstrzygnięcia różnic między parami zmiennych.

Wyniki prezentujące koncentracje analizowanych pierwiastków w transplantowanych plechach porostu testowego i analizę ich zależności od rozpatrywanych czynników środowiskowych w latach 2014 i 2015 przedstawia kolejny podrozdział rozpoczynający się na stronie 132. Układ pracy i prezentacja treści merytorycznych przybiera postać sprawdzonego już wcześniej schematu dla oceny zmian

morfolologicznych i anatomicznych plech. Podobnie jak przy okazji poprzednich analiz, tak i tutaj pojawia się problem niefortunnej graficznej interpretacji wyników na bazie izolinii interpolowanych z wykorzystaniem sugestywnie wyznaczonych stanowisk, w tym danych dla punktu kontrolnego. Stanowiska o największej kwartalnej koncentracji zanieczyszczeń w testowanych plechach porostu często korespondują z tymi, wykazującymi największe zmiany morfolologiczne plech w tych latach, dając pełniejszy obraz możliwości oddziaływania toksycznych pierwiastków na organizmy. Powtarzalność rozkładu przestrzennego analizowanych pierwiastków w kolejnym roku badań nie zawsze jednak miała miejsce, co wynikać może z odmiennych uwarunkowań meteorologicznych, różnych poziomów emisji zanieczyszczeń (porównaj np. stężenia i rozkłady siarki w roku 2014 i 2015), a być może także z błędów metodycznych, jak np. nieoszacowania błędu pomiarowego, czy błędu próby podczas prac analitycznych (na ten temat nie ma informacji w pracy).

W rozdziale 6.5 autorka przedstawiła wyniki analizy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w plechach eksponowanych w latach 2016 i 2017 na dwu stanowiskach badawczych. Pytanie nawiązujące do tego fragmentu pracy zadałem już poprzednio w odniesieniu do prowadzonych w tym samym okresie badań nad zmianami morfolologicznymi plech. W tym miejscu jednak zwrócić pragnę uwagę autorce na nieprawidłowy graficzny model prezentacji wyników, który zastosowała dla zmiennych nieciągłych (Ryc. 155 i 156). Dodatkowo Ryc. 156 towarzyszy błędna legenda.

Kolejny podrozdział jest esencją pracy doktorskiej, której poszczególne, wcześniej opisane etapy ukierunkowane na zbiór danych meteorologicznych, żmudną ocenę parametrów zdrowotności i analizę zdolności kumulacyjnych transplantowanych plech testowego gatunku *Hypogymnia physodes*, mają posłużyć do matematycznej analizy skojarzeń wynikającej z siły związków pomiędzy wcześniej zdefiniowanymi danymi. Dla wykorzystania takiego narzędzia analizy statystycznej i podjęcia próby zbadania wielowymiarowych ekologicznych zależności, które wpływają na żywotność plech w środowisku miejskim, wcześniej wymienione przeze mnie mankamenty pracy można potraktować jako rady i zalecenia przydatne w przyszłej pracy naukowej. Mam nadzieję, że ten sposób analizy lichenoindykacyjnej i oceny warunków ekologicznych środowiska, nie tylko miejskiego, stanie się obok wykorzystywanych już w Polsce narzędzi statystycznych (np. oprogramowanie CANOCO), powszechniej stosowanym narzędziem w badaniach ekologicznych.

Dyskusja, która w części przynajmniej mogłaby być wykorzystana do wprowadzenia w problematykę badawczą we wstępie dysertacji jest dość obszerna. Nie brakuje jednak miejsca na polemikę z wynikami dotychczas prowadzonych badań lichenoindykacyjnych w wybranych miastach polskich.

Praca jest napisana językiem poprawnym stylistycznie, choć miejscami ciężkim w odbiorze ze względu na mnogość liczbowych danych i rezultatów analiz statystycznych. Dostyc liczne błędy językowe i merytoryczne zapewne w dużej mierze wynikają ze stosowania skrótów myślowych i uogólnień, ale są łatwe do wyeliminowania w trakcie przygotowania publikacji, która mam nadzieję będzie pokłosiem tej pracy. Podsumowanie skoncentrowane jest na zebraniu danych na temat uwarunkowań meteorologicznych, z jakimi miano do czynienia w okresie badań, natomiast deklarowane przez autorkę, w większości poprawne wnioski wynikają z prowadzonych w pracy analiz zmian morfologicznych plech porostu testowego, kumulacji w nich toksycznych pierwiastków i modelowania bayesowskiego. W jednym z wniosków pojawia się pojęcie pasma zieleni, które miałyby spełniać rolę biofiltra buforującego szkodliwy wpływ zanieczyszczeń na porosty. Termin ten nie był wcześniej w rozprawie używany, ani nie był metodycznie określony, ani w związku z tym badany, przez co wniosek ma charakter spekulacji. W pracy wykorzystano obszerny zasób literatury przedmiotu (231 pozycji), szczególnie polskie publikacje związane z lichenomonitoringiem. Znamiennym jest, że większość cytowanej bibliografii pochodzi sprzed roku 2010, tak, jakby w tej tematyce nie działo się na świecie już nic godnego uwagi.

Jak wcześniej już wspominałem, ze względu na zastosowanie nowatorskiego w lichenoindykacji narzędzia do analizy wielowymiarowej, dzięki któremu możliwe jest określenie siły związków przyczynowo-skutkowych warunkujących optymalny rozwój porostów w każdym środowisku, jak również podjęty trud prowadzenia i analizy długoterminowych, żmudnych badań, świadczących o sporych już kompetencjach doktorantki, opiniuję całość pracy pozytywnie i stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny dysertacja doktorska Pani mgr Sylwii Kiercul spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w obowiązujących przepisach. Wnioskuje zatem do Szanownej Rady Wydziału Nauk Biologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego o **dopuszczenie kandydatki do dalszych etapów przewodu doktorskiego i publicznej obrony.**

Rzeszów, 10.07.2019

dr hab. Paweł Czarnota, prof. URz

