

Olsztyn, dn. 10.07.2019

dr hab. Jacek J. Nowakowski, prof. nadzw.
Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska
Wydział Biologii i Biotechnologii
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
10-727 Olsztyn, Plac Łódzki 3
tel. +48 89 5234343
e-mail:jacek.nowakowski@uwm.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Sylwii Kiercul
"Modelowanie wpływu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na kondycję plech porostów"

INFORMACJE OGÓLNE

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska Pani mgr Sylwii Kiercul "Modelowanie wpływu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na kondycję plech porostów" została wykonana w Katedrze Inżynierii Rolno-Spożywczej i Kształtowania Środowiska Politechniki Białostockiej pod kierunkiem dr hab. Grażyny Łaskiej, prof. nadzw. PB. Recenzowana rozprawa doktorska to manuskrypt liczący 284 strony o typowej dla rozpraw doktorskich strukturze, logicznie podzielony na rozdziały i podrozdziały. Tekst pracy obejmuje 8 ponumerowanych części: 1. Wstęp, przedmiot, cele badań, 2. Badania lichenomonitoringowe w ujęciu-teoretyczno-metodycznym, 3. Obiekt badań, 4. Teren badań, 5. Materiały źródłowe i metody badań, 6 Wyniki badań, 7. Dyskusję, 8. Podsumowanie wyników i wnioski oraz części nieobjęte numeracją: Bibliografię, stanowiącą spis 232 pozycji piśmiennictwa naukowego i dokumentów prawnych, Aneks, zawierający 140 rycin dokumentujących wyniki testów post hoc dla kolejnych analiz, Spis rycin, Spis tabel oraz Streszczenie w języku polskim i angielskim. Rozprawa doktorska zawiera łącznie 163 ryciny oraz 86 tabel.

MERYTORYCZNA OCENA PRACY

Postępujący wzrost populacji człowieka i różne formy negatywnego oddziaływania na środowisko przyrodnicze wynikające z rozwoju cywilizacji prowadzą w skutkach do zmian w strukturze i funkcjonowaniu układów przyrodniczych, a często w konsekwencji do funkcjonalnej degradacji układów ekologicznych. Rozwój działalności gospodarczej powoduje wzrost stężeń zanieczyszczeń, który w znacznym stopniu przekracza możliwości samokompensacji ekosystemu. Degradacja środowiska przyrodniczego na przestrzeni ostatniego stulecia wyraźnie nasila się. Organizacja Narodów Zjednoczonych w swoim najnowszym raporcie GEO (*Global Environment Outlook*), pod hasłem „Zdrowa planeta, zdrowi ludzie” wzywa do zintensyfikowania działań na rzecz polepszenia stanu środowiska naturalnego na świecie. Przed biologami stają ważne zadania poznania przyczyn i skutków zachodzących przemian w układach przyrodniczych oraz wypracowania sposobów zapobiegania im i łagodzenia ich skutków. Poszukuje się nadal skutecznych sposobów zapobiegania degradacji środowiska i praktycznych metod monitorowania stanu układów przyrodniczych. W wyniku rewolucji przemysłowej do atmosfery zaczęły przenikać duże ilości odpadów: gazy i pary tlenków węgla, azotu, siarki, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, fenole, aerozole, popioły, pyły, sadze, zawierające związki metali ciężkich. Grzyby zlichenizowane (porosty) są grupą organizmów bardzo wrażliwych na zanieczyszczenia powietrza, dlatego też używane są jako bioindykatory w kontroli stanu skażenia powietrza atmosferycznego licznymi polutantami, a transplantacja plech porostów jest jedną z metod biomonitoringu.



Doktorantka w swojej pracy podejmuje się charakterystyki wybranych cech morfologicznych i anatomicznych plechy pustułki pęcherzykowej *Hypogymnia physodes*, eksponowanej na zanieczyszczenia gazowe i pyłowe, z kontrolowaniem czynników pogodowych (wilgotności względnej powietrza, wielkości opadów, temperatury, prędkości wiatrów) oraz odległości od emitora zanieczyszczeń, celem odpowiedzi na pytania w jaki sposób wybrane zmienne wpływają na kondycję plech porostów i stopień kumulowania metali ciężkich i siarki. Cele pracy Autorka zamierza osiągnąć poprzez opracowanie matematycznego modelu opartego na sieciach bayesowskich opisującego relację pomiędzy kondycją plechy porostów i skumulowanym oddziaływaniem wybranych czynników środowiska. Podjęty problem badawczy dotyczy ważnego aspektu poznania uwarunkowań ekologicznych funkcjonowania porostów i doskonalenia metod monitoringu stanu środowiska za pomocą porostów. Ogólny cel badań wydaje się być ważny z naukowego aspektu poznania, a analiza zebranych danych i opracowanie matematycznego modelu, oprócz dostarczenia nowej wiedzy, może mieć znaczenie aplikacyjne. Hipotezy badawcze (str. 12-13) oraz określone szczegółowe cele pracy (str. 13-14) zostały właściwie sformułowane, są precyzyjne, pozwalają na właściwe ich testowanie. Wybór przedmiotu badań (gatunku modelowego) jest właściwy – pustułka pęcherzykowata *Hypogymnia physodes*, z uwagi na szeroki zakres tolerancji ekologicznej, zasięg, poznane aspekty reakcji metabolitów porostowych na zanieczyszczenia, jest jednym z najczęściej wykorzystywanych gatunków porostów w badaniach lichenomonitoringowych.

Praca jest obszerna, a ponieważ jej istotą, zawartą w tytule jest matematyczny opis zależności, ważnym aspektem jest właściwe zaplanowanie badań, aby zgromadzić dane wejściowe charakteryzujące kondycję plechy porostów, koncentrację wybranych zanieczyszczeń w plechach, pomiary czynników klimatycznych/pogodowych oraz przeprowadzenie analizy danych polegającej na opracowaniu topologii sieci, określeniu prawdopodobieństw warunkowych, przeprowadzenie symulacji komputerowej i walidacji modelu.

Dwa pierwsze rozdziały (str. 9-31) dobrze wprowadzają w problematykę badawczą. Rozdziały te zostały logicznie podzielone na części. Zostały napisane dość syntetycznie, stanowią zasygnalizowanie dotychczasowego zastosowania modelowania matematycznego z wykorzystaniem sieci bayesowskich w badaniach przyrodniczych (str. 15), podstaw teoretycznych takiego modelowania (str. 16-18), w tym możliwości jego zastosowania w charakterystyce wpływu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na kondycję plech porostów (str. 18-19). Autorka przedstawia rys historyczny stosowanych technik i metod służących ocenie stanu środowiska z wykorzystaniem porostów jako bioindykatorów (str. 19-27) oraz charakteryzuje ogólnie wybrane zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, istotne dla podjętej tematyki badawczej (str. 27-31). Jest to dobrze skonstruowany, rozdział obejmujący kompetentnie przedstawiony przegląd tego typu badań.

Charakterystyka obiektu badań (str. 32-37) oraz terenu badań (str. 38-41) jest wystarczająca. W przypadku charakterystyki terenu badań wskazano wykaz wszystkich stanowisk badawczych w projekcie (współrzędne geograficzne), obejmując próbę kontrolną, emitory liniowe, emitory punktowe i stanowiska badawcze położone 5, 10, 15 km od emitorów punktowych, po obu ich stronach, wyznaczonych wg transektu głównego kierunku najczęstszych wiatrów. Projekt eksperymentu jest bardzo dobrze zaplanowany – obejmował 3 emitory liniowe (skrzyżowania ulic w Białymstoku, 2 emitory punktowe (Elektrociepłownia Białystok S.A i Elektrociepłownia „Zachód”), 12 stanowisk badawczych i próbę kontrolną w Puszczy Knyszyńskiej (Nadleśnictwo Krynki). Kryteria wyboru stanowisk badawczych zostały opisane w metodach badań (str. 43-45), kryteria te są poprawne, uwzględniają uwarunkowania ustawowe odnośnie sytuowania punktów pomiarowych zanieczyszczeń powietrza i wytycznych pomiarów stężenia SO₂ w powietrzu w aglomeracjach miejskich, wielkość emisji oraz praktykę monitoringowych badań lichenologicznych.

Metody badawcze zastosowane w pracy są właściwie dobrane, pozwalające na uzyskanie poprawnych, jednoznacznych danych pomiarowych stanowiących zbiór danych wejściowych do

analiz statystycznych. Autorka wybrała metodę transplantacji cech w ocenie makro- i mikroskopowej, metodę bioreakcji do oceny zawartości metali ciężkich i siarki w plechach oraz techniki chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrem mas, chromatografem GC.MS Agilent 7890B do oceny zawartości wielonasyconych węglowodorów aromatycznych. Kondycja plechy została określona makroskopowo w skali rangowej (I-III, zależnie od stopnia degradacji rozet plechy) zaś kondycja mikroskopowa oceniona na podstawie liczby komórek żywych i martwych fotobionta *Trebouxia*, zliczanych w polu widzenia w preparacie mikroskopowym. W tym ostatnim przypadku podano informacje o zliczaniu komórek w polu widzenia w całym preparacie – z podanej informacji trudno ustalić jak prowadzono taki pomiar? W części wynikowej analizowana jest statystycznie niezależnie liczba komórek żywych i liczba komórek martwych (np. str. 55) – czy pomiar liczby komórek był testowany z uwagi na powtarzalność oceny? Na stronie 50 przy charakterystyce danych laboratoryjnych odnośnie cech morfologicznych plech wskazano, że wprowadzono do modelowania 5 zmiennych, t.j. zbrązowienie, wybielenie, plamy nekrotyczne, odkształcenia i wykruszenia, inne zmiany, ale w części metodycznej brakuje wyjaśnienia, jaka jest skala pomiarowa tych zmiennych, wszak przy ocenie makroskopowej uszkodzenia rozet, zarówno w klasie II jak i klasie III degradacji rozet rejestrowano odbarwienia i uszkodzenia plechy. W tabelach w części wynikowej wskazano, że cechy morfologiczne (uszkodzenia) oceniano w procentach, w jakim celu wyróżniano wówczas klasy uszkodzeń I-III?

Opis metod analizy statystycznej (rozdz. 5.5-5.7, str. 49-53) jest dość wyczerpujący w przypadku charakterystyki modelowania z zastosowaniem sieci bayesowskich. W modelowaniu użyto oprogramowania GeNIe 2.1 (Pittsburgh University) jednego z najlepszych narzędzi do modelowania sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego za pomocą sieci Bayesa oraz probabilistycznych modeli graficznych. Autorka scharakteryzowała pojęcie prawdopodobieństwa warunkowego, zasady budowy sieci bayesowskiej, zmienne losowe użyte w badaniach (modelowaniu), bazę danych obejmującą 17 zmiennych i 132 rekordy. W modelowaniu matematycznym opartym na sieciach bayesowskich ważnym jest proporcja liczby zmiennych (wielkość sieci) i liczby przypadków (liczba rekordów) wymaganych do stworzenia sieci, zgodnie z regułami heurystycznymi, które uzależniają liczbę przypadków od liczby powiązań. Liczba wymaganych przypadków rośnie nieliniowo, wraz z liczbą użytych w modelu zmiennych. W przypadku dwóch modeli liczących najwięcej zmiennych (5 i 6) liczba przypadków przypadających na jedną zmienną wynosi 22-26, co wydaje się być wystarczającą wielkością próby.

Opis metod statystycznych użytych do analizy zróżnicowania badanych zmiennych są nie do końca satysfakcjonujące. Doktorantka użyła jednoczynnikowej analizy wariancji w porównaniach zróżnicowania badanych parametrów pomiędzy kwartałami kolejnych lat badań (2014-2017), stanowiskami w klasach odległości od emitora lub typami stanowisk (emitor liniowy, emitor punktowy). Wskazano, że testowano zgodność rozkładów w próbach z rozkładem normalnym testem Shapiro-Wilka oraz jednorodność wariancji testem Levene'a. O ile test Shapiro-Wilka został użyty właściwie, to stosowanie testu Levene'a w wielu przypadkach jest niewłaściwe lub wątpliwe. Test ten jest bardzo wrażliwy na nierówne liczebności prób. Moduły różnicy odchyień od średniej arytmetycznej w grupach mają najczęściej rozkłady silnie prawostronnie skośne, przez co różnice w liczebnościach prób osłabiają znacząco moc testu. Szczególnie wysokie prawdopodobieństwo błędnego odrzucenia prawdziwej hipotezy zerowej można zauważyć dla małych, nierównolicznych prób. W przypadku rozkładu asymetrycznego, np. log-normalnego, wyniki testu Levene'a pogarszają się tak drastycznie, że jej stosowanie wydaje się zdaniem statystyków wręcz niedopuszczalne. W przeprowadzonych analizach liczebność prób w większości przypadków była zróżnicowana, np. przy ocenie różnic zmiennych pomiędzy stanowiskami w klasach odległości od emitora (tab. 3: n=20, n=8, n=4; tab. 28: n=32, n=16, n=4), pomiędzy typami stanowisk (tab. 3: n=12, n=32, n=4, tab. 52: n=12, n=59, n=4, n=9). Lepszym rozwiązaniem było użycie testu Browna-Forsythe'a lub testu Bartletta, stosowanych gdy próby są o różnej liczebności. Analogiczna sytuacja jest z użyciem testu *post hoc* Tukeya HSD, który powinien być zastosowany zależnie od warunków testowania w wersji dla

prób równolicznych lub w wersji dla prób o różnych liczebnościach. Brakuje takich informacji. Na stronie 53 Autorka napisała że „test Tukeya to analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami” – jest to błędne sformułowanie – w rzeczywistości mamy dwie różne metody analizy statystycznej. Również, chciałbym się dowiedzieć jakie były przesłanki do stosowania jednoczynnikowej analizy wariancji, a nie analizy wieloczynnikowej (kwartał, stanowisko), natomiast w przypadku oceny zróżnicowania cech pomiędzy stanowiskami (punkt kontrolny, emitor liniowy, emitor punktowy) dlaczego nie zastosowano analizy kontrastów. Wyrażam nadzieję, że te uwagi pomogą Autorce rozprawy ponownie przyjrzeć się przeprowadzonym analizom i interpretacji wyników, a ostatecznie ułatwią publikację najbardziej wartościowych wyników pracy.

Rozdział 6. Wyniki badań, jest bardzo obszerny, zawiera na stronach 54-173 i w Aneksie na str. 217-264 dość szczegółowe zestawienie zgromadzonych w latach 2014-2017 danych. Stanowi to dobry materiał dokumentacyjny pracy. Część wynikowa została podzielona na sześć podrozdziałów obejmujących charakterystykę warunków meteorologicznych, ocenę zmian morfologicznych plechy, kondycję anatomiczną plechy, koncentrację metali ciężkich (Cd, Zn, Pb) i siarki (S), koncentrację WWA oraz przedstawienie wyników modelowania matematycznego wpływu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na kondycję plech porostów. Zaproponowany podział jest logiczny – informacje zawarte w poszczególnych częściach odpowiadają wyznaczonym zakresom treści. Sposób prezentacji wyników jest schematyczny.

W podrozdziałach 6.1.1-6.1.4 przedstawiono kolejno wpływ temperatury, sumy opadów, wilgotności względnej powietrza i prędkości wiatrów na kondycję plech. Dane uzyskane w wyniku badań są bardzo wartościowe, ale sposób charakterystyki tych wyników jest dość trudny w odbiorze (można znacznie lepiej zredagować tekst), ryciny 16, 17 i 19 są opisane zbyt małą czcionką, przez co są prawie nieczytelne – można było na każdej z nich podać wartość współczynnika korelacji i prawdopodobieństwo błędu I rodzaju, wówczas komentarz opisu byłby znacznie krótszy i pozwalałby lepiej porządkować wykryte zależności od tych zależności w granicach błędu wnioskowania. Niezasadnym jest prezentowanie współczynnika determinacji z dokładnością do stutysięcznych, gdy interpretacja współczynnika jest w procentach i zawarta jest w dokładności do 3 miejsc po separatorze. Na ryc. 15-18, 20 pokazano związki pomiędzy czynnikami pogodowymi – ale brakuje uogólnień odnośnie analizowanych związków, które byłyby przydatne w ocenie zasadności wprowadzania tych danych do modeli matematycznych. Analizy statystyczne związane z projektowaniem i oceną prawdopodobieństw zdarzeń w sieciach bayesowskich wymagają zwrócenia uwagi na redundancję zmiennych – wielu badaniach wykazuje się, że warunki pogodowe są ze sobą silnie powiązane zależnościami korelacyjnymi, co powoduje stosowanie różnych współczynników stanu pogody. Podobny problem Autorka mogła napotkać przy analizie liczby martwych i żywych komórek fotobionta w plechach przy ocenie mikroskopowej kondycji plechy badanych porostów, gdyż liczby te są ze sobą powiązane.

W przypadku rozdziałów 6.2-6.5 prezentacja wyników oparta jest o schemat charakterystyki statystycznej badanych cech zestawionych w tabelach, prezentację wyników analizy wariancji w postaci tabelarycznej dla kolejnych lat badań. Tabele zawierające charakterystykę statystyczną prób są dobrze zaprojektowane, czytelne oraz zawierają wszystkie istotne estymatory i informacje (średnią i odchylenie standardowe, medianę, wartości minimalne i maksymalne, wielkość próby) – stanowią bardzo dobre zestawienie danych. W przypadku tabel prezentujących wyniki analizy wariancji, niejasne jest tylko zaprezentowanie prawdopodobieństw w ostatniej kolumnie tabel – do czego te prawdopodobieństwa się odnoszą? Wszystkie wykresy przedstawiające zróżnicowanie wielkości zmian morfologicznych pomiędzy kwartałami badawczymi i rodzajami stanowisk nie zawierają opisów, co jest na rycinie prezentowane (mogę się domyślić, że kropka to średnia, a pionowa pogrubiona linia to mediana, ale pozostałe elementy??? Brakuje również informacji, co oznaczają gwiazdki – czy są to wyniki testu post hoc pomiędzy typami stanowisk?, a dlaczego nie ma oznaczeń dla testowania różnic pomiędzy kwartałami? Podobnie jak poprzednio, mam uwagę

odnośnie prezentacji wartości prawdopodobieństwa błędu z dokładnością do 7 miejsc po separatorze, w sytuacji, gdy cyfry w liczbie nie są już informatywne, np. $p=0.027167$ (str. 67, wiersz 10). Interesujące jest natomiast podejście Autorki od graficznej prezentacji zróżnicowania uszkodzeń plechy w zależności od lokalizacji stanowisk badawczych (np. ryc. 27 i kolejne analogiczne).

Modelowanie matematyczne wpływu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na kondycję plech porostów to dobrze poprowadzona część badań (str. 162-173). Autorka uwzględniła w modelach dane uzyskane podczas badań i wiedzę ekspercką odnośnie powiązań zmiennych. Zaprojektowane modele matematyczne są logiczne, a proponowane powiązania pomiędzy zmiennymi są uzasadnione. Autorka analizowała sieci przyczynowo-skutkowe oparte na prawdopodobieństwie liczonym jako iloraz prawdopodobieństw zdarzenia B w odniesieniu do zdarzenia A, a modelowanie przeprowadzono za pomocą programu GeNIe 2.1. Modele sieci bayesowskich do odpowiedzi na kolejno stawiane pytania były logicznie uporządkowane, zawierały istotne węzły sieci (zmiennne modelu) oraz określone hierarchiczne powiązania pomiędzy zmiennymi, wskazujące na kierunki przewidywanych zależności. Autorka zebrała bardzo wartościowe dane obejmujące 132 rekordy charakterystyki 5 cech morfologicznych plechy pustułki pęcherzykowatej, 6 cech anatomicznych, 4 zmiennych pogodowych oraz rodzaje emitora zanieczyszczeń i odległości od emitora. Dane te posłużyły również do stworzenia zbioru testowego, ważnego dla sprawdzenia poprawności uzyskanego modelu. Walidację modelu przeprowadzono z wykorzystaniem dziesięciokrotnej walidacji krzyżowej na zbiorze testowym, z oceną macierzy błędów (*Confusion matrix*).

Dyskusja jest uporządkowana, podzielona na różne aspekty problematyki badawczej, dobrze napisana pod względem formalnym. Doktorantka odnosi uzyskane wyniki do stanu aktualnej wiedzy, właściwie wyprowadza wnioski końcowe. Merytorycznie dyskutuje przedstawione w rozprawie struktury graficzne modeli matematycznych, co jest dość dojrzałym podejściem do analizy uzyskanych wyników. Pewne akapity dyskusji (str. 174, 175,) czy wyróżniona część dyskusji „Zasadność wykorzystania do badań jako porostu testowego *Hypogymnia physodes*”, mogłyby być połączone z częścią wstępną pracy, dzięki czemu Autorka uniknęłaby pewnych powtórzeń.

Do ważnych osiągnięć Doktorantki zaliczyłbym:

1/ analizę warunkowych rozkładów wartości zmiennych wskazujących, że akumulacja zanieczyszczeń pyłowych, w tym metali ciężkich, znajduje odzwierciedlenie w kondycji morfologicznej i anatomicznej plechy pustułki pęcherzykowatej, że najistotniejsze związki zachodzą pomiędzy koncentracją ołowiu (Pb), siarki (S), cynku (Zn), przy temperaturach powietrza poniżej 9°C, wilgotności względnej w zakresie 74-79% i niskich opadach;

2/ w wyniku symulacji komputerowej prognozowanie zakresu natężenia czynników środowiskowych wpływających na kondycję plech badanego gatunku;

3/ ustalenie, że optymalne warunki mikroklimatyczne (wilgotność powietrza 74-79%), opad (119-234 mm), temperatura (9-18%) wpływają na stopień kumulacji kadmu (poniżej 7 $\mu\text{g}/\text{g}^{-1}$), ołowiu (poniżej 0,09 $\mu\text{g}/\text{g}^{-1}$), cynku (powyżej 14 $\mu\text{g}/\text{g}^{-1}$) oraz siarki (poniżej 1 $\mu\text{g}/\text{g}^{-1}$);

4/ ustalenie, że przy niskich opadach i małej wilgotności powietrza i niskiej temperaturze najczęściej występują odkształcenia i wykruszenia plechy (powyżej 19% powierzchni rozet), zbrązowienia (do 12%), wybielenia (9%);

6/ ustalenie powiązań pomiędzy zmianami makroskopowymi a rodzajem zanieczyszczeń, ich koncentracją i porą roku (powiązaną z wielkością opadów, wilgotnością powietrza i temperaturą);

5/ ocenę obciążenia środowiska na terenie Białegostoku oraz okolic zanieczyszczeniami (Zn>Cd>Pb>S);

7/ wskazanie mapy rozkładu zanieczyszczeń w terenie na podstawie prowadzonych badań lichenologicznych;

8/ opracowanie modelu matematycznego pozwalającego na symulację oddziaływań czynników środowiskowych na porosty w sytuacjach dynamicznych zmian w środowisku;

UWAGI REDAKCYJNE

Maszynopis pracy został przygotowany dość starannie, jest dobrze zredagowany, nie zawiera poważnych błędów. Kilka uwag formalnych, oprócz wskazanych powyżej dotyczących sposobu prezentacji danych odnoszą się do użytych w rozprawie sformułowań, pewnych nieścisłości w cytowaniu czy uwag o charakterze redakcyjno-technicznym, które w żaden sposób nie umniejszają merytorycznej ocenie rozprawy doktorskiej. W zakresie cytowania dostrzegłem następujące błędy:

- str. 9 ... Conti 2001, powinno być Conti, Cecchetti 2001,
- str. 9 ... Sawicka-Kapusta, Zakrzewska 2010, powinno Sawicka-Kapusta i in. 2010,
- str. 22 ... błąd w nazwisku Godinhoi, powinno być Godinho,
- str. 27 ... błąd w nazwisku Puvis i in. (2003), powinno być Purvis i in. (2003),
- str. 29 ... błąd w nazwisku Bell, Reshow 2002, powinno być Bell, Treshow 2002,
- str. 35 ... Kiercul 2015 W spisie są pozycje 2015a i 2015 b,
- str. 36 ... błąd w nazwisku Aproot i in. 2009, powinno być Aptroot i in. 2009,
- str. 47-48 ... Sawicka-Kapusta, Zakrzewska 1999, powinno być Sawicka-Kapusta i in. 1999,
- str. 174 ... Wirth i in. 1975, powinno być Wirth, Türk 1975,
- str. 175 Józwiak M.A., Józwiak M., Fałtynowicz i Kozłowski (2013), powinno być Józwiak i in. (2013),
- str. 188 Józwiak, Rybicki 2013, powinno być Józwiak, Rybiński 2013,
- w rozprawie cytowane są publikacje – Coxon i in. 2003 (str. 11), Józwiak, Józwiak 2010 (str. 174), Fabiszewski, Bielecki 1983a, 1983b (str. 175), Pustelniak 1991a, Białońska, Dyan 2005 (str. 178), Hauck i in. 2009 (str. 178), których brak jest w spisie piśmiennictwa,
- w spisie piśmiennictwa znajdują się pozycje, do których nie znalazłem odwołań w tekście rozprawy (poz. 14, 29, 33, 37, 44, 48, 50, 79, 80, 92, 127, 132, 139, 153, 190, 194, 201, 202),
- w spisie piśmiennictwa nie jest zachowany alfabetyczny schemat uporządkowania cytowanej literatury (str. 201, 202, 203, 204, 205, 206, 210, 211, 213),

Praca jest napisana poprawnym językiem, ale w części wynikowej, sposób prezentacji analizy danych mógłby być bardziej czytelny, aby pokazać istotę wykrytych zależności. W pracy użyto kilkakrotnie niezbyt fortunnnych określeń, np. "*....są współzależnione względem siebie...*"; *....analiza testu post hoc metodą Tukeya...*"

Przedstawione przez mnie uwagi mają za zadanie zwrócić uwagę na doprecyzowanie analizy danych, której warto się podjąć przed publikowaniem wyników oraz przygotowania redakcyjnego prezentacji wyników, na które należy zwrócić uwagę przy przygotowywaniu tekstu do publikacji. Zamieszczone uwagi nie obniżają merytorycznej, naukowej wartości pracy, którą oceniam pozytywnie.

WNIOSEK KOŃCOWY

Podsumowując, rozprawa doktorska mgr Sylwii Kiercul "Modelowanie wpływu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na kondycję plech porostów" prezentuje wyniki bardzo dobrze zaplanowanych i dobrze przeprowadzonych badań naukowych. Pewne niedoskonałości dotyczą znajomości założeń dla stosowanych metod analizy statystycznej danych i właściwego ich użycia, ale praca wnosi bardzo dużo nowych danych dotyczących poruszanego problemu naukowego. Uzyskano wartościowe wyniki, które mają duże znaczenie poznawcze oraz potencjał aplikacyjny w zakresie ochrony środowiska. Doktorantka opanowała metody badawcze stosowane w lichenologii, szczególnie metodę transplantacji plech porostów, metody analiz chemicznych związanych z oznaczaniem koncentracji w plechach porostów związków ołowiu, cynku, kadmu, siarki i WWA oraz techniki modelowania matematycznego. Poprowadziła dyskusję naukową uzyskanych wyników i właściwie wprowadziła wnioski z przeprowadzonych badań.

Rozprawa doktorska p. Sylwii Kiercul, w mojej opinii, spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016 r. poz. 595, z późn. zm.) i wnioskuję do Wysokiej Rady Wydziału Nauk Biologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego o dopuszczenie p. Sylwii Kiercul do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jacek J. Nowakowski

