Olsztyn, dn. 12.06.2017

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 Anety Sienkiewicz "Sieci Bayesowskie w ocenie czynników biotycznych i abiotycznych na zachowanie populacji zagrożonych gatunków roślin na przykładzie sasanki otwartej *Pulsatilla patens* (L.) Mill.

Postępujące zmiany klimatyczne, oddziaływania antropogeniczne prowadzące do fragmentacji środowiska przyrodniczego oraz zaburzeń i degradacji funkcjonalnej układów ekologicznych skutkują spadkiem liczby stanowisk wielu gatunków roślin, grzybów, zwierząt, fragmentacją ich zasięgów oraz spadkiem liczebności lub wymieraniem populacji w części, a nawet w całym zasięgu występowania. Wiele gatunków, które jeszcze na początku ubiegłego stulecia charakteryzował ciągły zasięg geograficzny obecnie stały się gatunkami nielicznymi lub zagrożonymi. Efektem tych niekorzystnych zmian środowiskowych jest spadek różnorodności biotycznej (biologicznej) układów ekologicznych, sukcesywne wprowadzanie na czerwone listy Międzynarodowej Unii Ochrony Przyrody (IUCN) coraz to nowych taksonów, opracowywanie nowych czerwonych list/ksiąg gatunków zagrożonych dla lokalnych zasobów przyrodniczych oraz konieczność podejmowania czynnej ochrony. Wiele współczesnych aktywnych działań ochronnych wymaga jednak dobrego poznania biologii i ekologii gatunków będących przedmiotem takich przedsięwzięć, aby zarządzanie gatunkami i ich zasobami genetycznymi było efektywne. Problem spadku różnorodności biotycznej, spadku liczebności populacji oraz wymierania gatunków absorbuje zarówno przyrodników, jak i naukowców na całym świecie, a zachowanie gatunków stało się celem, nad którego osiągnięciem pracują różne zespoły badawcze, dążąc do poznania uwarunkowań ekologicznych funkcjonowania gatunków, w tym również zagrożonych gatunków roślin.

Przedstawiona do oceny rozprawa dotyczy tego ważkiego problemu badawczego i znakomicie wpisuje sie w aktualny nurt badawczy. Autorka zaproponowała zastosowanie modelowania matematycznego, opartego na sieciach bayesowskich do poznania wzajemnych powiązań pomiędzy biologią rozwoju i dynamiką zagrożonych gatunków oraz oddziaływaniem czynników środowiska w warunkach zaburzeń powodowanych działalnością człowieka. Wybór przedmiotu badań do realizacji tych ogólnych celów badawczych jest właściwy, gdyż zasięg geograficzny sasanki otwartej *Pulsatilla patens* na skrajnych obszarach w Europie ma charakter wyspowy, liczebność populacji ulega spadkowi, a wiele stanowisk szybko zanika. W odniesieniu do szybkiego zaniku stanowisk sasankę otwartą wpisano na listę gatunków Załącznika II i IV Dyrektywy 92/43/EWG w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory oraz na czerwoną listę IUCN z kategorią zagrożenia

DD – *data deficient* (brak danych). W Polsce należy do gatunków zagrożonych, została wpisana na Czerwoną listę roślin i grzybów Polski oraz do Polskiej Czerwonej Księgi Roślin. W mojej opinii podjęty problem badawczy jest dobrze wkomponowany we współczesne potrzeby poznania uwarunkowań ekologicznych funkcjonowania populacji gatunków zagrożonych, wpisuje się w badania innych autorów, gdyż metody modelowania matematycznego w ocenie stanu zachowania zagrożonych gatunków wielokrotnie wykorzystywano w przypadku roślin i zwierząt. Implementacja tych metod, rozwój wnioskowania w oparciu o sieci neuronowe to ważne współczesne podejście do analizy związków w układach ekologicznych. Poznanie powiązań ekologicznych pomiędzy warunkami siedliska, czynnikami mikroklimatycznymi i czynnikami biotycznymi oraz charakterystykami demograficznymi i morfologicznymi populacji sasanki otwartej z obszaru zasięgu w północno-wschodniej Polsce to ogólny cel pracy jaki postawiła sobie Doktorantka. Cel badań wydaje się być ważny z naukowego aspektu poznania, a wyniki przedstawionych badań mogą stanowić cenne źródło informacji w planowaniu aktywnej ochrony tego zagrożonego gatunku.

Rozprawa doktorska została wykonana w Katedrze Ochrony i Kształtowania Środowiska Politechniki Białostockiej pod kierunkiem pani dr Hab. Grażyny Łaskiej, prof. PB. Recenzowana rozprawa doktorska to maszynopis liczący 195 stron, 69 rycin, 17 tabel, 220 pozycji cytowanego piśmiennictwa. Struktura pracy jest typowa, nieodbiegająca zasadniczo od struktury innych rozpraw doktorskich, podzielona logicznie na rozdziały i podrozdziały, zakończona spisami rycin i tabel. Zadaniem Recenzenta – w moim spojrzeniu – jest obok oceny merytorycznej pracy oraz oceny wkładu uzyskanych wyników w określonej dyscyplinie naukowej również wskazanie uwag, szczególnie w sytuacji poddania ocenie rozprawy doktorskiej w formie maszynopisu, które pomogą Autorowi rozprawy ponownie przyjrzeć się analizowanym zagadnieniom, a w konsekwencji ułatwią publikacje najbardziej wartościowych wyników pracy. Dlatego poniżej przedstawiona treść opinii o rozprawie zawiera uwagi w odniesieniu do tak rozumianej przeze mnie roli recenzji pracy.

Obszerny wstęp, obejmujący w mojej opinii łącznie Rozdział I. Wstęp, przedmiot i cele badań oraz Rozdział II. Metody modelowania matematycznego w ocenie stanu zachowania populacji zagrożonych gatunków roślin i rozdział III. *Pulsatilla patens* (L.) Mill. jako obiekt badań, liczący 31 stron, nawiązuje do postawionej problematyki badawczej poprzez przedstawienie jej dość szerokiego kontekstu rzeczowego, wynikającego z analizy piśmiennictwa zarówno w odniesieniu do stanu wiedzy o różnych czynnikach wpływających na zagrożenie funkcjonowania populacji sasanki otwartej, jak również zastosowania modelowania matematycznego, jako narzędzia badawczego w ocenie stanu zachowania różnorodności biologicznej w tym populacji zagrożonych gatunków roślin. Rozdział I napisany syntetycznie, dość dobrze wprowadza w podjęte zagadnienie badawcze. W końcowej jego części zostały prawidłowo sformułowane hipotezy badawcze oraz określone szczegółowe cele pracy powiązane z zastosowaniem modeli sieci bayesowskich do oceny wpływu zmienności biotycznych i abiotycznych czynników środowiska na stan zachowania zagrożonych populacji sasanki otwartej. W przypadku hipotez badawczym można było precyzyjniej sformułować, co kryje się pod pojęciem stan zachowania zagrożonych populacji roślin?, jakie cechy populacji podlegały weryfikacji w analizie danych? Precyzyjnie postawione hipotezy pozwalają bowiem na bardziej jednoznaczne ich testowanie oraz właściwą interpretację i dyskusję uzyskanych wyników.

Rozdziały II i III stanowią bardzo cenne, trafne uzupełnienia w odniesieniu do rozdziału I, gdyż rozwijają wątki myślowe Autorki dotyczące przeglądu zastosowania różnych metod modelowania matematycznego w badaniach ekologicznych (str. 9, akapit 1.), czy różnorodnych przyczyn zagrożenia sasanki otwartej (str. 10, akapit 1), które w skrótowej wersji Rozdziału I, bez odwołania się do publikacji źródłowych nie zawierają dużo treści informatywnej. Rozdział II zawiera natomiast bardzo obszerny przegląd zastosowania modeli matematycznych w badaniach ekologicznych, w tym zastosowania sieci bayesowskich stanowiących podstawę analiz danych w przygotowanej rozprawie doktorskiej. Rozdział bardzo dobrze skonstruowany, obejmujący szeroki, kompetentnie przedstawiony przegląd tego typu badań. W tej części pracy Autorka zaproponowała zilustrowanie omawianych zagadnień kilkoma rycinami, jednak w przypadku niektórych z nich brakuje objaśnień – i w kontekście ich użycia, np. str. 14, rys. 2, nie jest czytelne w jaki sposób zobrazowana jest struktura powiązań sieci ekologicznej zawartości planktonu w wodzie morskiej? Do czego odnoszą się oznaczenia aglomeracji danych A-E na rycinie? Jakie poziomy analizowanych parametrów środowiskowych wpływały korzystnie na funkcjonowanie modelowanego układu ekologicznego, do którego odwołuje się Autorka? Rozdział III prezentujący obiekt badań opisuje rozmieszczenie geograficzne, uwarunkowania ekologiczno-siedliskowe, morfologię, biologię i taksonomię gatunku oraz jego status ochronny. To w tej części Doktorantka, wprowadza czytelnika w przyczyny zagrożenia sasanki otwartej w różnych obszarach jej zasięgu geograficznego (str. 38). Ogólnie w mojej opinii charakterystyka obiektu badań jest wyczerpująca, przy czym w opisie rozmieszczenia geograficznego można było odwołać się do podstawowych źródeł danych naukowych, opisać przedstawiony na ryc. 10 geograficzny zasięg występowania sasanki otwartej, a nie powoływać się na szereg prac, z których część stanowi popularno-naukowe opracowania. Również ilustracje obrazujące rozmieszczenie sasanki otwartej moim zdaniem mogłyby być ograniczone do geograficznego zasięgu oraz rozmieszczenia gatunku w Europie i Polsce. W kontekście potrzeb pracy wybiórcze umieszczenie map występowania sasanki otwartej w Niemczech, Finlandii i Estonii (ryc. 11), czy w woj. śląskim (ryc. 13b) nie było chyba potrzebne.

W kolejnym rozdziale Autorka przedstawia teren badań. Charakterystyka terenu badań jest wyczerpująca, obejmująca opis według konsekwentnie powtarzanego schematu czterech kompleksów leśnych, w których zlokalizowane były stanowiska badawcze: Puszczę Knyszyńską, Piską, Augustowską i Białowieską. Rzeczowo przedstawiono położenie fizyczno-geograficzne tych obszarów, charakterystykę geobotaniczną, geomorfologiczną, klimatyczną, hydrograficzną i szaty roślinnej. Dobrym pomysłem było tabelaryczne zestawienie charakterystyk badanych obszarów leśnych (str. 43-44; tabela 1), co ułatwia szybkie porównanie terenów objętych badaniami.

Charakterystyka materiału badawczego i metod badań to zawsze bardzo ważny „punkt" rozpraw/publikacji naukowych. Rozdział ten jest logicznie uporządkowany, podzielony na części. Omawia kryteria wyboru gatunku do badań – ten aspekt jak wspomniałem wcześniej nie budzi zastrzeżeń, Autorka w chwili podjęcia badań nie dysponowała wiedzą o wynikach badań przeprowadzonych przez inne zespoły zajmujące się oceną stanu populacji sasanki otwartej i możliwości adaptacyjnych lokalnych populacji tego gatunku do zmian środowiska. Doktorantka objęła badaniami w latach 2011-2015 populacje z Polski północno-wschodniej, pochodzące z dużych kompleksów leśnych (Puszcza Augustowska – 1 stanowisko, Puszcza Białowieska – 4 stanowiska, Puszcza Knyszyńska – 33 stanowiska, Puszcza Piska – 9 stanowisk) – opis stanowisk jest właściwy, lokalizacja

wskazania w odniesieniu do przestrzeni (ryc. 18-21) oraz numeracji oddziałów i pododdziałów leśnych. Badania kartograficzne rozmieszczenia osobników, ocenę powierzchni stanowisk, stopnia (frekwencji) pokrycia stanowiska liczbą powierzchni próbnych z osobnikami sasanki otwartej, ocenę zagęszczenia osobników na powierzchniach próbnych oraz zdjęcia fitosocjologiczne charakteryzujące zbiorowiska roślinne na stanowiskach badawczych wykonano zgodnie ze standardem tego typu prac stosowanych w ilościowej ekologii roślin. Scharakteryzowano szeroki zakres czynników abiotycznych (właściwości fizyko-chemiczne gleby, warunki mikroklimatyczne, ekspozycję zbocza, odległość od drogi) oraz biotycznych (procentowe pokrycie powierzchni stanowiska warstwy drzew, krzewów ziół i mchów, liczbę gatunków w płacie roślinnym, liczbę gatunków w warstwie runa i liczbę gatunków konkurencyjnych). Badania właściwości gleby przeprowadzono zgodnie ze standardem analiz glebowo-chemicznych, a dane klimatyczne zebrano na podstawie skorygowanych pomiarów klimatycznych uzyskanych z pobliskich stanowiskom badawczym stacji meteorologicznych.

Ważnym elementem był wybór danych wejściowych do modelowania związków pomiędzy czynnikami oraz wybór danych charakteryzujących „kondycję" populacji (stan zachowania populacji). Ten drugi zbiór danych jest szczególnie ważny z punktu widzenia oceny roli czynników na funkcjonowanie populacji, ważny z aplikacyjnego aspektu pracy, potrzeb ochrony gatunku. Stan zachowania populacji opisano na podstawie cech morfologiczno-rozwojowych (faza rozwoju osobników, liczba pędów generatywnych, wegetatywnych i juwenilnych, wysokość osobników oraz rozpiętość przyziemnej rozety), co jest wydaje się być dobrym pomysłem dla tych badań. W aspekcie wyboru zmiennych do analiz, biorąc pod uwagę cechy biologiczne sasanki otwartej *Pulsatilla patens*, która jest taksonem ksenogamicznym, o kwiatach zapylanych przez owady z rodziny Apiaideae, osobiście brakuje mi w modelach matematycznych użycia zmiennych/zmiennej definiującej liczebność lub różnorodność tej grupy owadów w badanych siedliskach. O ile, zdaje sobie sprawę, że Autorka i tak wybrała szereg licznych danych o środowisku, ten czynnik ekologiczny jakkolwiek nie użyty w badaniach, szkoda, że nie został przez Doktorantkę chociaż przedyskutowany w ocenie oddziaływania czynników abiotycznych i biotycznych na stan zachowania gatunku. Obecnie wielu badaczy wskazuje na spadek liczebności błonkówek, wpływ zmian klimatu na funkcjonowanie populacji owadów i w tym kontekście wydaje się być interesującym, na ile wprowadzenie innych zmiennych do modelu może przyczynić się do poznania wzajemnych powiązań przyczynowo-skutkowych i może zmienić hierarchię reprezentatywności czynników wyjaśniających. 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. Modelowanie przeprowadzono za pomocą programu GeNIe2.0.

Rozdział VI Wyniki badań został podzielony na 5 części obejmujących charakterystykę stanu zachowania populacji sasanki otwartej, charakterystykę zbiorowisk roślinnych, gleby, warunków klimatycznych oraz opis modeli matematycznych powiązań wpływu czynników biotycznych i abiotycznych na stan zachowania sasanki otwartej. Ogólnie rozdział bardzo dobrze napisany, logiczny, spójny. Sposób prezentacji wyników czytelny, wyniki zestawione w dobrze zaprojektowanych tabelach lub na rycinach.

Ogółem Autorka zebrała bardzo wartościowe dane obejmujące 1573 rekordy opisujące zmienność warunków siedliskowych i charakterystyk płatów roślinnych badanych stanowisk. Jest to bardzo ważna informacja, gdyż w rzeczywistości dla złożonych zależności w modelowaniu matematycznym opartym na sieciach neuronowych lub modelach bayesowskich ważne jest określenie wielkości zbioru uczącego, wymaganego do stworzenia sieci, zgodnie z regułami heurystycznymi, które uzależniają liczbę przypadków od liczby powiązań (wielkości sieci). W wielu przypadkach wskazywano, że w sytuacji zwiększania liczby zmiennych determinujących funkcję odtwarzaną przez sieć neuronową liczba wymaganych przypadków rośnie nieliniowo, co powoduje że wymagana liczba przypadków wchodzących w skład zbioru jest znaczna. W przypadku badan podjętych przez Doktorantkę nie dostrzegam takiego problemu. Modele sieci bayesowskich do odpowiedzi na kolejno stawiane pytania były logicznie uporządkowane, zawierały istotne węzły sieci (zmienne modelu) oraz określone hierarchiczne powiązania pomiędzy zmiennymi, wskazujące na kierunki przewidywanych zależności. W modelowaniu wpływu struktury i składu gatunkowego zbiorowisk roślinnych na grupowe właściwości sasanki otwartej (liczba pędów juwenilnych, generatywnych, wegetatywnych, rozpiętość rozety, faza rozwoju) wykorzystano 7 pierwotnych zmiennych wejściowych, w modelowaniu wpływu właściwości fizykochemicznych gleb – 25 zmiennych wejściowych, a w modelowaniu wpływu czynników biotycznych i abiotycznych – 38 zmiennych, co przy liczbie rekordów (przypadków) użytych do analizy prognozuje prawidłowe użycie metody badawczej. Ocena błędu wnioskowania na podstawie sieci bayesowskich zawarta jest wynikach testowania diagnostycznego użytych zmiennych –w mojej opinii to bardzo cenny wynik przeprowadzonych przez Autorkę analiz, wskazujący, które ze zmiennych są dobrymi prognostykami. Przeprowadzone testy diagnostyczne pozwoliły również ocenić stopień "przeuczenia" sieci. Analizy statystyczne związane z projektowaniem i ocenami prawdopodobieństw zdarzeń w sieciach bayesowkich wymagają również zwrócenia uwagi na inny aspekt metodyczny – niepełnowartościowość danych, niekompletność danych oraz wartości danych odbiegających od typowych wartości zmiennych wejściowych, co może stać się skutkować pojawieniem się obciążenia wyników modelu. W części metodycznej Autorka pisze o walidacji projektowanych modeli matematycznych za pomocą 10-krotnej walidacji krzyżowej na zbiorze testowym, jednak efektywność algorytmów modelowania zależy od struktury danych wejściowych, spośród których losuje się część danych do zbioru testowego. W procesie uczenia się sieci w sieciach bayesowskich przeprowadza się estymacje funkcji gęstości prawdopodobieństwa reprezentowaną przez wprowadzone do analizy dane.

W odniesieniu do tego wątku, dotyczącego jakości danych użytych w analizach brakuje mi zwrócenia uwagi na fakt, że strumień danych charakteryzuje w dość nierównomierny sposób badane populacje (Puszcza Knyszyńska – 33 stanowiska, Puszcza Piska – 9 stanowisk, Puszcza Białowieska – 4 stanowiska, Puszcza Augustowska – 1 stanowisko). Ponadto w strukturze danych zauważa się bardzo niską zmienność pewnych cech i wartości odstające w rozkładach wartości (np. ryc. 25, 26). Na rycinach 35 i 36 zaprezentowano zależności pomiędzy liczbą osobników wegetatywnych oraz juwenilnych a stopniem pokrycia warstwy zielnej i warstwy mszystej, sugerując zależności liniowe – takiej wnioskowanie wydaje się nieprawomocne, szczególnie w kontekście zastosowania linii prostej do zobrazowania powiązań, gdyż kierunek zależności wynika z faktu obecności wartości odstających w zbiorach danych. W części metodycznej Autorka pisze o użyciu 1537 rekordów danych do analiz, tymczasem w tabelach przedstawiających wyniki, nie ma

pewnych danych dla niektórych populacji, np. średnia liczba osobników juwenilnych, wegetatywnych, generatywnych (tab. 8), średnia rozeta osobników w fazie rozwoju, średnia wysokość osobników w fazie rozwoju (tab. 9) – jak Autorka radziła sobie z brakami danych? Brakuje mi także zwrócenia uwagi przez Autorkę rozprawy na ważny aspekt jakim jest redundancja zmiennych?

Podoba mi się rozdział Dyskusja, logiczny, uporządkowany, pokazujący dużą wiedzę Doktorantki, która widzi złożoność problematyki i trudność interpretacji uzyskanych wyników. Dobrze zostały wyprowadzone wnioski końcowe. Tym co warte jest podkreślenia, to dość krytyczne spojrzenie Doktorantki na uzyskane wyniki. W dyskusji brakuje mi odniesienia uzyskanych rezultatów do wyników badań, które ukazały się w roku 2016 dotyczących zróżnicowania genetycznego populacji sasanki otwartej w granicach zasięgu środkowo- i wschodnioeuropejskiego (Szczecińska et al. 2016, PLoS ONE 11 (3)). Autorzy wykazali, że populacje pochodzące z dużych kompleksów leśnych (Puszcza Augustowska, Puszcza Knyszyńska, Puszcza Piska) utworzyły pod względem zróżnicowania genetycznego wspólną grupę Baltic 1, a szczegółowa analiza parametrów zmienności genetycznej na poziomie populacji pokazała pozytywną korelację zróżnicowania z wielkością populacji. Autorzy wytypowali populacje ich zdaniem referencyjne, najważniejsze dla ochrony: Kopna Góra (P4), Kopytkowo (P8), Zabiele (P15), Kolimagi (P14). Niewątpliwie wskazanie tych populacji referencyjnych z uwagi na zmienność genetyczną otwiera nową drogę do poznania – na ile dane dotyczące charakterystyk populacji referencyjnych mogą zmienić wiedzę o powiązaniach pomiędzy czynnikami i wpłynąć na wnioski końcowe z wykonanej pracy, szczególnie te ważne dla ochrony i kształtowania środowiska, celem skuteczniejszej ochrony gatunku.

Uwagi redakcyjne. Z obowiązków recenzenta odnoszę się również do jakości przygotowanego maszynopisu. W mojej ocenie maszynopis pracy został przygotowany starannie, dobrze zredagowany, nie zwiera poważnych błędów. Kilka uwag formalnych dotyczy użytych sformułowań, pewnych nieścisłości w cytowaniach czy uwag o charakterze redakcyjno-technicznym, które w żaden sposób nie umniejszają jakości przedstawionej rozprawy doktorskiej.

- str. 12. ... niezbyt fortunne określenie *"....funkcjonowania zagrożonego taksonu sasanki otwartej?"*
- str. 34. ... błąd w nazwisku ..... Raunkiaera 1905, powinno być Raunkiaer 1905 (Christen Raunkiaer),
- w całej pracy Autorka używa słowa rysunek (Rys.) dla zastosowanych wykresów, fotografii, schematów – wydaje się lepszym użycie określenia rycina (Ryc.),
- niezbyt jednolity sposób numeracji rozdziałów i podrozdziałów, raz użyte cyfry rzymskie, innym razem arabskie,
- w rozprawie cytowana jest publikacja Łaska, Sienkiewicz (2015), np. str. 9, 17, 66, ale w spisie piśmiennictwa są trzy pozycję z tym samym rokiem wydania (poz. 110, 111, 112), pozycje te i odwołania do nich powinny być oznaczone symbolami, a,b,c według kolejności użycia w tekście pracy,
- nie zawsze sposób odwołania do pozycji piśmiennictwa jest jednoznacznie użyty – dotyczy to prac, gdzie autorem jest instytucja, np. str 10, Monitoring GIOŚ 2010-2011, str. 15 High Performacnce Systems Inc. 1996; odwołań do dokumentów, np.

RDLP Białystok i Olsztyn 2013 (str. 46, 47, 48), RDLP Białystok 2011 str. 52, 54; odwołań do danych niepublikowanych,

- Faliński 2001 - brak w spisie.

Przedstawione przez mnie uwagi mają głównie charakter dyskusyjny i ich celem było zwrócenie uwagi na różne aspekty, które warto przeanalizować w takiego typu badaniach, które to uwagi nie obniżają wysokiej merytorycznej oceny pracy, ale mogą pomóc w przygotowaniu publikacji.

Podsumowując rozprawa doktorska p. Anety Sienkiewicz pt. Sieci bayesowskie w ocenie wpływu czynników biotycznych i abiotycznych na zachowanie populacji zagrożonych gatunków roślin na przykładzie sasanki otwartej *Pulsatilla patens* (L.) Mill. prezentuje wyniki bardzo dobrze zaplanowanych i właściwie poprowadzonych badań naukowych oraz stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorantka opanowała metody badawcze stosowane w ekologii roślin, techniki modelowania matematycznego, przeprowadziła analizę danych i krytycznie oceniła rezultaty uzyskanych modeli. Praca wnosi bardzo dużo nowych danych dotyczących charakterystyki siedliskowej i stanu zachowania populacji sasanki otwartej w dużych kompleksach leśnych północno-wschodniej Polski. Uzyskano wartościowe wyniki, które mają duże znaczenie poznawcze oraz potencjał aplikacyjny w zakresie ochrony i kształtowania środowiska dla ochrony badanego gatunku. Zastosowane modele przetestowane na sasance otwartej wydają się być możliwe do zastosowania w innych podobnych problemach.

Pod względem naukowym praca jest bardzo dobrze zrealizowana, a jej zakres merytoryczny wpisuje się w dyscyplinę naukową ochrona i kształtowanie środowiska i pozwala ubiegać sie przez Doktorantkę o stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie naukowej ochrona i kształtowanie środowiska.

Rozprawa doktorska p. Anety Sienkiewicz w mojej opinii w pełni 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 wnioskuje do Wysokiej Rady Wydziału Kształtowania Środowiska i Rolnictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie o dopuszczenie p. Anety Sienkiewicz do dalszych etapów przewodu doktorskiego.