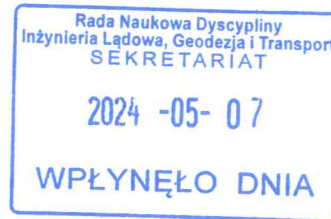


dr hab. inż. Agata Hościło

Warszawa, 06.05.2024 r.

Instytut Ochrony Środowiska

– Państwowy Instytut Badawczy



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Radeckiej

pt.: „Wykorzystanie ortofotomapy lotniczej RGB oraz splotowych sieci neuronowych w detekcji wybranych gatunków sukcesji wtórnej”

Promotorzy: dr hab. inż. Katarzyna Osińska-Skotak, prof. uczelni i dr Hubert Piórkowski

1. Podstawa formalno-prawna

Formalną podstawą sporządzenia recenzji rozprawy doktorskiej pani mgr inż. Aleksandry Radeckiej pt.: „Wykorzystanie ortofotomapy lotniczej RGB oraz splotowych sieci neuronowych w detekcji wybranych gatunków sukcesji wtórnej” jest pismo z dnia 12 lutego 2024 r. od Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej Pana dr hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni, informujące o powołaniu mnie na recenzenta ww. rozprawy doktorskiej oraz Uchwała nr 902/2024 z dnia 6 lutego 2024 r. podjęta przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej wyznaczająca recenzentów rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Radeckiej.

2. Zakres i struktura pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Radeckiej pt.: „Wykorzystanie ortofotomapy lotniczej RGB oraz splotowych sieci neuronowych w detekcji wybranych gatunków sukcesji wtórnej” przygotowana została na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Katarzyny Osińskiej-Skotak, prof. uczelni oraz dr Huberta Piórkowskiego.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska składa się ze streszczenia w języku polskim i angielskim, oraz spisu treści – 8 str. (3% całej pracy), 8 rozdziałów głównych: 1. Uczenie maszynowe na danych obrazowych – 22 str. (9%), 2. Proces sukcesji wtórnej – 5 str. (2%), 3. Monitoring sukcesji wtórnej – 10 str. (4%), 4. Cel i hipotezy pracy – 3 str. (1%), 5. Dane badawcze – 28 str. (12%), 6. Metoda badań – 36 str. (15%), 7. Omówienie wyników i dyskusja – 49 str. (21%), 8. Podsumowanie – 5 str. (2%), Bibliografii – 22 str. (9%), Spisu rysunków, tabel wraz z załącznikami – 46 str. (20%). Rozdziały zostały podzielone na podrozdziały, co umożliwia łatwe nawigowanie po pracy. W sumie tekst rozprawy liczy 235 stron maszynopisu. Praca zawiera łącznie 37 rysunków, 11 tabel, 30 wykresów oraz 3 załączniki, z czego załącznik nr 3 zawiera 37 zestawień tabelarycznych.

Na uwagę zasługuje pokaźna liczba publikacji zacytowanych przez Doktorantkę – 215 pozycji wraz z linkami do stron internetowych. Przeważająca część cytowanych pozycji opublikowana została w języku angielskim. Około 34% cytowanych artykułów naukowych zostało opublikowanych w ostatnich 5 latach, co świadczy o śledzeniu przez Autorkę aktualnych trendów w badaniach związanych z zagadnieniami poruszonymi w rozprawie. Dobór literatury dowodzi, że Autorka dobrze orientuje się w literaturze związanej z zagadnieniem sukcesji wtórej oraz zastosowaniem danych teledetekcyjnych i nowoczesnych metod analizy obrazu w tym kontekście.

Tytuł rozprawy stanowi trafne podsumowanie głównej idei pracy, choć można byłoby rozważyć dodanie terminu „klasyfikacja”, aby jeszcze ściślej nawiązać do celu pracy i stawianych hipotez. Tym samym tytuł brzmiałby „Wykorzystanie ortofotomapy lotniczej RGB oraz splotowych sieci neuronowych w detekcji i klasyfikacji wybranych gatunków sukcesji wtórnej”.

3. Znaczenie tematu badawczego

Doktorantka podejmuje bardzo istotne zagadnienie jakim jest detekcja i identyfikacja gatunków drzew i krzewów sukcesji wtórnej z zastosowaniem danych teledetekcyjnych i nowoczesnych technik uczenia maszynowego. Zagadnienie monitorowania sukcesji wtórnej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych jest istotne z punktu widzenia przygotowania wskaźników przestrzennych charakteryzujących sukcesję, które są niezbędne w procesie oceny stanu siedliska, monitorowania obszarów chronionych i cennych przyrodniczo oraz sporządzania planów zadań ochronnych dla obszarów Natura 2000.

Konieczność monitorowania zjawiska sukcesji na obszarach chronionych wynika z zagrożenia dla zachowania lub odtworzenia chronionych, nieleśnych siedlisk przyrodniczych, np. łąkowych i pastwiskowych. Monitorowanie siedlisk Natura 2000 warunkuje tzw. Dyrektywa siedliskowa oraz Ustawa o ochronie przyrody wyróżniająca pojęcie monitoringu przyrodniczego rozumianego jako proces, który „polega na obserwacji i ocenie stanu oraz zachodzących zmian w składnikach różnorodności biologicznej i krajobrazowej, w tym typów siedlisk przyrodniczych oraz gatunków będących przedmiotem zainteresowania Wspólnoty, ze szczególnym uwzględnieniem typów siedlisk przyrodniczych i gatunków o znaczeniu priorytetowym, a także na ocenie skuteczności stosowanych metod ochrony przyrody”. Jak zaznaczyła Autorka, podstawą opisywanego monitoringu obszarów Natura 2000 są badania terenowe prowadzone na stanowiskach monitoringowych, które następnie służą opracowaniu oceny stanu ochrony siedlisk przyrodniczych „na poziomie regionów biogeograficznych i w skali całego kraju”.

Uważam, że podjęty przez Doktorantkę temat badawczy wpisuje się w intensywnie rozwijający się nurt badań naukowych i aplikacyjnych dotyczących zastosowania danych teledetekcyjnych, w szczególności danych o wysokiej rozdzielczości przestrzennej w procesie monitorowania obszarów chronionych. Podjęte przez Doktorantkę zagadnienia wpisują się w Unijną strategię na rzecz różnorodności biologicznej 2030 „Przywracanie przyrody do naszego życia”, jak również z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie odbudowy zasobów przyrodniczych (Nature Restoration Law). Należy również podkreślić, że dane teledetekcyjne zostały wpisane w 2012 roku w Wytocznych Głównej Dyrekcji Ochrony Środowiska jako potencjalne źródło informacji o stanie siedlisk przy opracowania planu zadań ochronnych dla obszarów Natura 2000.

4. Wartość naukowa rozprawy

Doktorantka podjęła się przeniechanizowania zagadnień detekcji pojedynczych obiektów, tym samym uszczegółowienia zasięgu przestrzennego sukcesji wtórnej oraz klasyfikacji czterech gatunków drzew i krzewów (sosna, brzoza, kruszyna i wierzba). Stanowią one dwa spośród trzech parametrów charakteryzujących sukcesję wtórną na stanowiskach monitoringowych siedlisk Natura 2000. Nowatorskim aspektem rozprawy jest ocena potencjału lotniczej ortofotomapy w kompozycji RGB oraz zastosowanie splotowych sieci neuronowych do określania ww. parametrów charakteryzujących sukcesję wtórną, zwłaszcza na jej wczesnym etapie. Autorka w pełni zdaje sobie sprawę z ograniczonej informacji spektralnej zawartej w trzech kanałach spektralnych RGB, jednakże wysoka rozdzielczość przestrzenna danych jest zdecydowanie atutem w pozyskaniu informacji o tzw. wzorcach określających strukturę roślinności, które z kolei stanowią cenne źródło informacji w procesie uczenia maszynowego. Oryginalnym podejściem jest również stworzenie finalnego

autorskiego modelu gatunków sukcesji, bazującego na najlepszym zestawie zmiennych, dobranym w procesie wnikliwej analizy wykonanej przez Autorkę. W ramach badań wykonano szereg eksperymentów mających na celu wybranie optymalnych wariantów zmiennych charakteryzujących omawiane rozwiązanie. Do tych zmiennych należały m.in. wielkość wycinka referencyjnego ortofotomapy, rodzaj modelu, liczba, termin oraz obszar pozyskania danych, a także sposób augmentacji danych oraz sposób uczenia transferowego. Takie podejście jest innowacyjne i z pewnością stanowi znaczący wkład w rozwój nauki w zakresie zastosowanie sieci neuronowych i lotniczych ortofotomap do wyróżnienia pojedynczych drzew i krzewów biorących udział w procesie sukcesji wtórnej oraz klasyfikacji gatunków.

Wart podkreślenia jest również fakt, że podjęty przez Doktorantkę temat badawczy jest kontynuacją szerszych badań prowadzonych w kontekście monitorowania sukcesji wtórnej z zastosowaniem danych zarejestrowanych z pułapu lotniczego. Doktorantka we współpracy z innymi naukowcami wykonała wcześniej prace badawcze dotyczące detekcji niewielkich drzew i krzewów oraz klasyfikacji gatunków na podstawie lotniczych zdjęć hiperspektralnych o rozdzielczości przestrzennej 1 metra oraz rastrowych produktów wygenerowanych na podstawie danych LiDAR. Wyniki tych prac zostały opublikowane w postaci dwóch artykułów naukowych [129, 132]. Jednym z wniosków wykonanych badań była trudność w wyróżnieniu niewielkich drzew i krzewów na podstawie lotniczych danych hiperspektralnych o rozdzielczości przestrzennej 1 metra. Bazując na otrzymanych wynikach oraz na analizie publikacji naukowych Doktorantka skoncentrowała się na szczegółowej analizie potencjału zobrazowań lotniczych w kompozycji RGB o wyższej rozdzielczości przestrzennej oraz zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych w procesie detekcji i klasyfikacji gatunków. Jest to oryginalne podejście zwłaszcza w kontekście analizy wczesnego stadium sukcesji wtórnej. Prezentowane wyniki mają potencjał publikacyjny i z pewnością poszerzają wiedzę w zakresie monitorowania sukcesji wtórnej z wykorzystaniem lotniczych ortofotomap oraz spłotowych sieci neuronowych. Dotychczas zaproponowane podejście metodyczne nie było analizowane w kraju. Ograniczona jest również liczba publikacji zagranicznych dotyczących wykorzystania lotniczych ortofotomap RGB w kontekście monitorowania sukcesji, pomimo iż dane tego typu są powszechnie pozyskiwane zarówno w Polsce (stanowią jeden z podstawowych zbiorów danych Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego) jak i innych krajach Europy.

5. Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa rozpoczyna się rozdziałem głównym dotyczącym Uczenia maszynowego na danych obrazowych. W moim odczuciu zabrakło krótkiego rozdziału będącego wstępem, wprowadzaniem do tematyki badawczej.

W rozdziale pierwszym Doktorantka przybliżyła zagadnienia związane z uczeniem maszynowym, poczynając od genezy, założeń, definicji i rozwoju koncepcji uczenia maszynowego. Następnie w sposób przejrzysty wyjaśnia zagadnienie i sposób funkcjonowania sztucznych sieci neuronowych ze szczególnym naciskiem na podstawy teoretyczne, funkcjonowanie spłotowych sieci neuronowych oraz przybliżając zagadnienie związane z analizą obrazów pod kątem detekcji obiektów. Poruszony został również ważny aspekt dotyczący praktycznego zastosowania sieci neuronowych tj.: doboru architektury CNN do rodzaju zadania: klasyfikacji, detekcji, czy segmentacji, szczegółowa analiza dostępnych, zdefiniowanych architektur sieci i dobór parametrów kontrolujących proces uczenia sieci, tak by skutecznie rozwiązywały określone zadania. W mojej opinii w podrozdziale 1.3 zabrakło przykładów wykorzystania CNN w analizie danych teledetekcyjnych, w szczególności w detekcji i klasyfikacji obiektów, czyli zagadnień badanych przez Autorkę. CNN zyskał na popularności w ostatniej dekadzie, stąd jak słusznie zauważyła Doktorantka, zaletą zastosowania CNN jest dojrzałość tego typu sieci oraz duża liczba dostępnych modeli dedykowanych analizie obrazów rastrowych.

W rozdziale drugim i trzecim Doktorantka porusza zagadania związane z procesem sukcesji wtórnej i metodami monitorowania tego zjawiska. Autorka jako sukcesję wtórną rozumie kierunkową zmianę składu gatunkowego i wyglądu roślinności w czasie w stałym klimacie. W rozdziale drugim znalazło się wyczerpujące wyjaśnienie rozbieżności między sukcesją wtórną a pierwotną oraz zalesieniami, rozumianymi jako sukcesja wtórna wymuszana. Ponadto poruszono problematykę zwiększania lesistości kraju w wyniku działalności człowieka oraz naturalnej sukcesji wtórnej, jak również aktualny problem dotyczący rozbieżności między lesistością rzeczywistą kraju a lesistością według Ewidencji Gruntów i Budynków, czyli tzw. „lasów poza ewidencją”. Zaprezentowany na Rys. 15 przestrzenny rozkład obszarów przewidywanych do zalesienia lub sukcesji wtórnej w Europie w 2030 r. jest już przestarzały - pochodzi z publikacji z 2012 r. (w bibliografii podana jest błędny rok 2015 pozycja [52]), a odnosi się do danych z 2000 roku. W rozdziale trzecim Doktorantka wykazała się znajomością krajowych przepisów prawnych warunkujących konieczność monitorowania procesów sukcesji wtórnej na obszarach chronionych i cennych przyrodniczo. Wskazała również wskaźniki charakteryzujące proces sukcesji wtórnej, szczególnie istotnych dla oceny stanu siedliska, które mogłyby zdaniem Autorki zostać pozyskane na podstawie analizy danych teledetekcyjnych.

Doktorantka dokonała wnikliwego przeglądu literatury w kontekście wyznaczania zasięgu przestrzennego sukcesji, wyznaczania stadiów sukcesji za szczególnym uwzględnieniem identyfikacji pojedynczych osobników i określaniu składu gatunkowego. Publikacje podzielone zostały pod kątem badanego zagadnienia sukcesji, przestrzennego zasięgu, geograficznego usytuowania, rodzaju wykorzystywanych danych teledetekcyjnych oraz zastosowanego podejścia metodycznego. Autorka zaznaczyła, że nie zaobserwowała związku między rodzajem danych teledetekcyjnych, pułapem pozyskania danych a aspektem sukcesji wtórnej, za wyjątkiem kartowania gatunków sukcesji. Niestety zastosowany przez Autorkę podział publikacji uniemożliwia weryfikację tego stwierdzenia. Utrudniona jest także jednoznaczna identyfikacja luk w dotychczasowej wiedzy z zakresu monitorowania zjawiska sukcesji. Ponadto paragraf poświęcony zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych w badanych sukcesji wtórnej (strona 44) został opisany w bardzo ogólny sposób, bez podawania informacji jakie metody, gdzie i na podstawie jakich danych były testowane oraz jakie wyniki uzyskano. W mojej opinii warto byłoby również dodać paragraf dedykowany zastosowaniu spłotowym sieciom neuronowym w kontekście detekcji i klasyfikacji gatunków.

W rozdziale czwartym znalazły się jasno sformułowane dwie hipotezy badawcze:

- wykorzystanie spłotowych sieci neuronowych i ortofotomapy lotniczej RGB umożliwia skuteczną detekcję pojedynczych drzew i krzewów tworzących potencjalnie sukcesję wtórną,
- wykorzystanie spłotowych sieci neuronowych i ortofotomapy lotniczej RGB umożliwia wstępną klasyfikację wybranych gatunków drzew i krzewów sukcesji wtórnej.

Autorka w zwięzły sposób wyjaśniła dlaczego skoncentrowała swoje badania na lotniczych ortofotomapach w kompozycji RGB o wysokiej rozdzielczości przestrzennej oraz wybrała podejście dotyczące detekcji obiektów.

W rozdziale 5 zaprezentowane zostały dane badawcze. Na wstępie przedstawiono w sposób przystępny kryteria wyboru obiektu badań – czyli obszary, na których zachodzi sukcesja wtórna w różnym stadium rozwoju, reprezentująca różne gatunki drzew i krzewów oraz zlokalizowana w zasięgu tzw. Specjalnych Obszarów Ochrony Siedlisk (SOOS) sieci Natura 2000. Ponadto opisano szczegółowo dostępność krajowych ortofotomap. Autorka wykazała się szczegółową wiedzą na temat źródeł danych referencyjnych (krajowych i zagranicznych) zawierających informację o gatunkach sukcesji. W rozprawie Autorka korzystała z danych referencyjnych zebranych w ramach projektu HabiARS. Dane referencyjne zostały opisane w szczegółowy i zrozumiały sposób. W podrozdziale 5.3

zawarta została charakterystyka trzech obszarów badawczych. Miejscami Autorka używa skrótów myślowych bądź terminologii zaczerpniętej z instrukcji GDOŚ czy formularzy nie podając objaśnień używanych terminów, np.: ocena ogólna, stopnie intensywności sukcesji. W przypadku opisu typów pokrycia terenu na obszarze KR1 i NI1 powołuje się na dane N2K bez podania wyjaśnienia przywołanego skrótu oraz źródła danych, czyli serwisu lądowego programu Copernicus.

W rozdziale 6 zawarty jest opis metodyki badawczej. Na wstępie Autorka opisuje procedurę wyboru bazowego modelu detekcji pojedynczych drzew, analizując przy tym dostępne i stosowane modele. W przystępny sposób opisuje wyższość rozwiązań – DeepForest i Detectree2 bazujących na architekturze splotowych sieci neuronowych nad innymi. Następnie szczegółowo omawia działanie obu rozwiązań, analizując przy tym zalety i wady każdego z nich w kontekście detekcji i identyfikacji gatunków. Podejście do wyboru metody badawczej świadczy o umiejętności krytycznego myślenia, dokonywania oceny dostępnych rozwiązań, wyjaśniania w sposób przekonujący zasadność wyboru właściwej metody. Należy podkreślić, że Autorka posiada dobry warsztat programistyczny, posługuje się licznymi bibliotekami dostępnymi w środowisku języka programowania Python, tworzy też własne rozwiązania.

W dalszej kolejności Autorka opisuje przebieg eksperymentu badawczego (podrozdział 6.4), którego etapy zostały zwizualizowane na Wykresie 5. Na początek wykonywana jest predykcja z wykorzystaniem gotowego modelu DeepForest - uruchomionego „na wycinkach zmodyfikowanych, czyli przeskalowanych w górę oraz na wycinkach o oryginalnym wymiarze wynoszącym 400×400 pikseli”. Warto byłoby opisać dokładniej na czym polegał proces przeskalowania oryginalnych wycinków „w górę” – we wskazanym podrozdziale 6.3 pojawiło się jedynie stwierdzenie „dokonano bezpośredniego przeskalowania w górę”. Kolejnym krokiem było stworzenie tzw. autorskiego modelu zasięgu sukcesji (AMZS) – czyli dotrenowanego modelu bazowego DeepForest z wykorzystaniem wszystkich danych treningowych łącznie, niezależnie od gatunku oraz z zastosowaniem domyślnych dla DeepForest wartości parametrów modelu. Autorka nie podaje natomiast parametrów domyślnych modelu DeepForest. Następnie stworzono tzw. początkowy autorski model gatunków sukcesji (PAMGS). Model zbudowano wybierając domyślne dla DeepForest wartości poszczególnych analizowanych zmiennych lub takie, jakie na podstawie wstępnych testów przewidywano, że okażą się najskuteczniejsze.

W kolejnym kroku badań wykonano eksperymenty oceniające wpływ sześciu zmiennych w dziesięciu wariantach na dokładność omawianego modelu identyfikacji gatunków. Wpływ każdej ze zmiennych oceniany był osobno, względem modelu PAMGS, tj. poprzez modyfikowanie go jedynie w zakresie wartości analizowanej, konkretnej zmiennej. Takie rozwiązanie pozwoliło na odseparowanie wpływu poszczególnych zmiennych na otrzymywane dokładności modeli.

W rozdziale 7 zaprezentowane zostały wyniki i dyskusja. Sposób prezentacji i omówienie wyników jest przejrzysty. Autorka wykazała, że dotrenowanie modelu z wykorzystaniem przygotowanych wzorców drzew i krzewów (wariant AMZS) oraz w przypadku modelu gatunków (PAMGS) sukcesji daje wyższe dokładności niż w przypadku zastosowania modelu bazowego DeepForest. Ponadto autorskie modele były w stanie wykrywać trudno dostrzegalne obiekty, nie widoczne dla modelu bazowego.

W przypadku klasyfikacji gatunków, najniższe dokładności uzyskano w przypadku kruszyny. Doktorantka wskazuje jako jeden z powodów wahań wartości F1-score (str. 119) „dużą rozbieżność charakterystyki poszczególnych osobników tworzących zbiór referencyjny”. Należałoby doprecyzować sformułowanie „rozbieżność charakterystyki poszczególnych osobników”. W mojej opinii, Autorka dokonała krytycznej analizy wyników i wykazała się umiejętnością ich interpretacji na tle literatury.

Rozprawa kończy się zwięzłym rozdziałem podsumowującym, zawierającym wnioski oraz kierunku przyszłych badań w zakresie podejmowanej tematyki. Na uwagę zasługują przemyślane kierunki dalszych badań zmierzające do poprawy otrzymanych wyników, co świadczy o dojrzałości naukowej Autorki oraz gotowości do samodzielnego prowadzenia dalszych badań.

Na przyszłość warto pamiętać o dodaniu Indeksu zastosowanych skrótów, co z pewnością ułatwiłoby czytelnikowi zrozumienie zawartych treści.

6. Ocena końcowa

Rozprawę doktorską pani mgr inż. Aleksandry Radeckiej oceniam bardzo wysoko. Prezentuje ona ogólną wiedzę teoretyczną kandydatki oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu badawczego. Na uwagę zasługuje również charakter aplikacyjny rozprawy. Wątpliwości i sugestie opisane przeze mnie w rozdziale 5 nie wpływają na pozytywną ocenę pracy, mogą natomiast być pomocne w przygotowywaniu przyszłych publikacji naukowych. Prowadzenie pracy naukowej i sposób realizacji badań świadczy o dojrzałości naukowej Doktorantki.

Podejmowana praca ma charakter aplikacyjny i bez wątpienia stanowi ważny wkład w monitorowanie zjawiska sukcesji wtórnej oraz rozwiązania metodyczne związane z analizą lotniczych ortofotomap i splotowych sieci neuronowych.

W związku z powyższym, wyrażam przekonanie, że rozprawa pani mgr inż. Aleksandry Radeckiej pt.: „Wykorzystanie ortofotomapy lotniczej RGB oraz splotowych sieci neuronowych w detekcji wybranych gatunków sukcesji wtórnej” spełnia wszelkie wymagania stawiane pracy doktorskiej w myśl art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, tekst jedn. Dz.U. 2022, poz. 574 z późn. zm. i rekomenduję tym samym Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej jej dopuszczenie do publicznej obrony i do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



dr hab. inż. Agata Hościło