



WYDZIAŁ NAUK BIOLOGICZNYCH

KATEDRA EKOLOGII, BIOGEOCHEMII I OCHRONY ŚRODOWISKA
ul. Kanonia 6/8, pok. 223
50-328 Wrocław

tel. +48 71 375 41 03
fax +48 71 375 41 18

biosfera.biol.uni.wroc.pl

Bronisław Wojtuń
Katedra Ekologii, Biogeochemii i Ochrony Środowiska
Wydział Nauk Biologicznych, Uniwersytet Wrocławski
Kanonia 6/8, 50-328 Wrocław

Wrocław, 17.05.2017 r.

R e c e n z j a

pracy doktorskiej Pana Mgr Edwina Raczko pt.

„Zastosowanie danych hiperspektralnych i sztucznych sieci neuronowych do klasyfikacji gatunków drzewiastych Karkonoskiego Parku Narodowego”

Promotor: dr hab. Bogdan Zagajewski

Z uwagi na rozległość, obszary leśne są trudne i kosztochłonne do badania tradycyjnymi metodami, zwłaszcza w trudnodostępnych obszarach górskich. Szybki rozwój technik teledetekcyjnych otwiera nowe możliwości badania lasów w celach poznawczych i aplikacyjnych. Klasyczne metody określania składu gatunkowego lasów są szybko rozbudowywane o teledetekcję. Szczególne obiecujące w tym zakresie wydają się być techniki teledetekcji hiperspektralnej.

Zgodnie z ustawą rozprawa doktorska może mieć różną formę, tj. maszynopisu monografii, książki wydanej lub spójnego tematycznie zbioru rozdziałów w książkach wydanych, spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych lub przyjętych do druku w czasopiśmie naukowym. Rozprawa doktorska mgr Edwina Raczko spełnia ten pierwszy warunek. Jego praca stanowi więc w 100% własne, samodzielne osiągnięcie.

Rozprawa doktorska mgr Edwina Raczko dotyczy lotniczej teledetekcji

środowiska leśnego z wykorzystaniem danych hiperspektralnych i sztucznych sieci neuronowych, które oferują dane oraz algorytmy umożliwiające szczegółowe rozpoznanie gatunków drzew, a także ocenę ich kondycji. W pracy omówiono sposób wyboru kanałów spektralnych zobrazowania hiperspektralnego APEX przy użyciu metody PCA oraz wskaźnika użyteczności kanału, optymalizację parametrów uczenia sztucznych sieci neuronowych w celu klasyfikacji gatunków drzew oraz przedstawiono mapę rozmieszczenia wybranych gatunków drzew na podstawie opracowanej klasyfikacji.

Przedstawiona do recenzji rozprawa jest klasycznie sformułowana i zawiera 114 stron tekstu wydruku komputerowego formatu A 4 z licznymi przypisami, 9 tabel, 38 rycin i 2 załączniki w postaci map zamieszczonych w aneksie. Praca podzielona jest na 7 numerowanych rozdziałów z podrozdziałami, które kończą Podsumowanie i wnioski. Całość rozpoczyna Wstęp a kończy Literatura, które z powodów wiadomych tylko Autorowi, nie są numerowane. Ponadto, Autor nie wydzielił *Dyskusji*, jako osobnego rozdziału z podrozdziałami, a funkcję tę pełni, jak przypuszczam, rozdział 6, następujący po *Wynikach*. Poza tym układ pracy jest prawidłowy, podział treści na rozdziały, ich następstwo są logiczne, a zakres pracy odpowiada założeniom badań. Autor cytuje ponad 160 pozycji z literatury, w tym też 4 źródła internetowe.

We *Wstępie* Autor przedstawił trzy cele pracy, o różnych charakterze. Dwa pierwsze, dotyczące opracowania i przetestowania metod przetwarzania danych hiperspektralnych oraz opracowanie metody klasyfikacji sześciu gatunków drzew w Karkonoskim Parku Narodowym, mają charakter poznawczy, natomiast trzeci jest aplikacyjny, bo dotyczy opracowania mapy występowania wybranych gatunków drzew KPN na podstawie uzyskanej klasyfikacji oraz porównanie jej z obecnym stanem wiedzy na temat składu gatunkowego lasów w KPN. W treści tego rozdziału Autor przedstawił też powody, które skłoniły go do wyboru pasma Karkonoszy, jako terenu badań, argumentując, że (cytuje): „Jednym z najtrudniejszych obiektów badań są obszary górskie. Wynika to z ograniczonej dostępności terenu i mnogości zachodzących procesów środowiskowych (np. w gradiencie wysokości)”, co niewątpliwie wskazuje na fakt, że mgr. Edwin Raczek nie boi się trudnych wyzwań.

Osobne, obszerne rozdziały, następujące po *Wstępie*, poświęcone zostały teoretycznym podstawom teledetekcji hiperspektralnej i sztucznych sieciom neuronowym. W drugim z nich zamieszczony jest osobny podrozdział poświęcony zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych do klasyfikacji drzewostanów, w którym

mgr Edwin Raczek pisze, że mimo stosunkowo szerokiego wykorzystania sztucznych sieci neuronowych w teledetekcji, zakres stosowania tego narzędzia do klasyfikacji drzewostanów jest stosunkowo mały. Moim zdaniem wskazuje to na nowatorski charakter badań przedstawianych w rozprawie.

W rozdziale zatytułowanym *Obszar i obiekt badawczy* Autor zamieścił ogólną charakterystykę Karkonoskiego Parku Narodowego, omówił formy jego ochrony oraz warunki przyrodnicze Karkonoszy (geologia, klimat), jak też roślinność tego pasma. Co oznacza określenie „warunki przyrodnicze Karkonoszy” i czy Roślinność Karkonoszy, omówiona w następnym podrozdziale, nie wchodzi w skład warunków przyrodniczych? W tym miejscu chciałbym też przedstawić moje wątpliwości w stosunku do nieaktualnych danych dotyczących Karkonoskiego Parku Narodowego, który w 2015 r. został powiększony o około 360 ha terenów leśnych w reglu dolnym. Rozumiem też, że obrazy APEX pochodzą ze zobrazenia przeprowadzonego w 2012 r., czyli sprzed powiększenia. W rozdziale tym podano również szczegółowy przedmiot badań, tzn. sześć gatunków drzew rosnących w KPN: świerk (*Picea abies* L. Karst), brzoza (*Betula pendula* Roth), buk (*Fagus Sylvatica* L.), modrzew (*Larix decidua* Mill), sosna (*Pinus sylvestris* L.) i olcha (*Alnus* Mill). Szkoda tylko, że dla ostatniego z nich nie podano łacińskiej nazwy gatunkowej. Istotnym mankamentem tej części rozprawy jest brak precyzyjnego określenia terenu badań. Dopiero w szóstym rozdziale dowiadujemy się, że z klasyfikacji wyłączono młody las, głównie świerkowy (drzewa o wysokości < 2.5 m) oraz obszary porośnięte pojedynczymi drzewami, czyli praktycznie piętra subalpejskie i alpejskie. Dopiero w tym rozdziale podano też informacje o tym, że obszar sklasyfikowany w pracy wynosił 2027 ha, natomiast powierzchnia zajęta przez las w KPN to 4022 ha. Czy młodniki świerkowe zajmują około 50% powierzchni lasów w KPN?

Rozdział poświęcony metodom został przygotowany niezwykle starannie i szczegółowo. Zawiera wszystkie istotne elementy metodyczne, od pozyskania danych i ich przygotowania, optymalizację struktury sieci neuronowej i pozyskanie terenowych danych wzorcowych do klasyfikacji i weryfikacji, po klasyfikację zobrażeń APEX sztucznymi sieciami i iteracyjną ocenę dokładności tej klasyfikacji. Dane zostały pozyskane ze zobrazenia przeprowadzonego 10 września 2012 r. W tym miejscu należy nadmienić, że terenowe dane wzorcowe pozyskano z prawie 1300 poligonów pomiarowych w KPN, co niewątpliwie

przekłada się na wiarygodność uzyskanych wyników.

Rozdział *Wyniki* podzielony jest na pięć podrozdziałów, w których Autor kolejno omawia dokładność korekcji atmosferycznej zobrażeń APEX i analizuje ich informacyjność, optymalizację struktury sztucznej sieci neuronowej, rozmieszczenie analizowanych gatunków drzewiastych oraz zróżnicowanie ich wysokości. We wstępnej części rozdziału mgr Edwin Raczek wymienia pięć rodzajów wyników, które uzyskał, lecz nie zamieszcza wśród nich „Map rozmieszczenia wybranych gatunków drzew na terenie Karkonoskiego Parku Narodowego”. Rozumiem, że z punktu widzenia teledetekcji ważne są ocena korekcji obrazów APEX, ocena informacyjności kanałów APEX, optymalizacja parametrów uczenia sztucznej sieci neuronowej, wyniki klasyfikacji wszystkich scen APEX wytrenowaną siecią oraz analiza poprawności otrzymanej klasyfikacji za pomocą macierzy błędów. Te wyrafinowane i subtelne metody obróbki danych spektralnych służą jednak celowi głównemu, jakim jest precyzyjna identyfikacja gatunków drzew bez kontaktu fizycznego, a wyniki tej identyfikacji najlepiej zobrażać za pomocą map. Do tej części pracy ma jeszcze kilka uwag, które przedstawiam poniżej. Tabela 6 i rycina 25 są zbędnym dublowaniem wyników i pokazują to samo na dwa różne sposoby, przy czym wykres słupkowy obrazuje to lepiej. Ponadto w opisie do tabeli 6 nie podano czym są wartości liczbowe, punktami procentowymi czy liczebnością, natomiast w Tabeli 7 nie wyjaśniono wartości wyróżnionych pogrubioną czcionką.

Ostatni, numerowany rozdział pracy, nazwany przez Autora *Przydatność obrazów APEX i sztucznych sieci neuronowych do klasyfikacji gatunków drzewiastych*, w istocie jest dyskusją wyników, gdyż uzyskany w poprzednim rozdziale analizy porównywane są z danymi KPN oraz wynikami innych prac. Niestety muszę wytknąć, że na rycinach 32-38 nie objaśniono, co oznaczają białe, czarne i szare okręgi i koła oraz nie podano skali, tam gdzie było to możliwe. Mapy te dotyczą zgodności klasyfikacji z mapą porównawczą dla wybranych obszarów. Jako porównawczą dla wyników klasyfikacji zastosowano mapę z książki Danielewicz W., Raj A., Zientarski J., 2012. Ekosystemy leśne Karkonoskiego Parku Narodowego, Jelenia Góra: Karkonoski Park Narodowy (jak podaje mgr Edwin Raczek jest to Ryc. 8; w mojej książce jest to Mapa 1). Nie jestem przekonany, czy Autor dobrał właściwą mapę porównawczą, która ma podziałkę w kilometrach, podczas gdy wielkość piksela dla klasyfikacji wynosi 9 m^2 . Stąd zapewne stwierdzone

różnice w klasyfikacji w stosunku do mapy porównawczej. Czy nie lepiej sprawdzić wyniki klasyfikacji bezpośrednio w terenie z odbiornikiem GPS, zamiast porównywać do mało dokładnej mapy? W tym miejscu muszę przyznać, że wykonanie mapy rozmieszczenia drzew przy użyciu metod teledetekcyjnych ma dużo zalet, w stosunku do tradycyjnych.

Ostatnia część *Podsumowanie i wnioski* ogranicza się do skrótowego opisowego podsumowania osiągniętych wyników i w punktach wniosków z nich wynikających. Interesujący jest pierwszy wniosek, że dane hiperspektralne są zdecydowanie użyteczne w klasyfikacji gatunków drzew na obszarach chronionych. Zatem, czy na terenach nie objętych ochroną prawną dane hiperspektralne nie są użyteczne? Proszę o odniesienie się do tego pytania w trakcie publicznej obrony. Kolejna uwaga ma charakter ogólny i dotyczy stwierdzenia, które w pracy przewijało się wielokrotnie, a mianowicie, że wyróżniano gatunki drzew. Należy sobie uświadomić, że w pracy tak naprawdę odróżniano nie gatunki, lecz rodzaje drzew, tzn. świerk od modrzewia, buka, sosny czy olchy. Wydaje mi się, że metody teledetekcyjne nie są jeszcze w stanie odróżniać gatunków, bo różnice między nimi są często subtelne, np. nagie młode gałązki brzozy brodawkowatej vs pokryte włoskami młode gałązki brzozy omszonej. Wyjątkiem jest może *Pinus mugo*, kosodrzewina, która jest krzewem i *Pinus sylvestris*, sosna zwyczajna, która jest dużym drzewem.

Dołączone jako załączniki dwie mapy przygotowane zostały starannie i czytelnie. Wyjątkiem są szare plamy, które znajdują się zasięgu badanego terenu. Kolor ten nie został opisany w objaśnieniach map i w rezultacie nie wiadomo czy badane gatunki drzew w tych miejscach nie występują czy rosną tu inne, nie ujęte w prace drzewostany lub nie ma tu lasu. Szacuję, że w sumie powierzchnie te zajmują około 20-30% badanych lasów, są więc istotnym elementem, który powinien być objaśniony.

Wysoko oceniam wartość merytoryczną rozprawy Pana mgr Edwina Raczko. Uznaję, że przyjęte na wstępie cele badań zostały w pełni osiągnięte. Moje uwagi nie mają charakteru istotnych zarzutów merytorycznych. Zalet ocenianej rozprawy doktorskiej upatruję również w jej stronie formalnej. Rozprawa napisana jest poprawnym językiem i w sposób przystępny, mimo trudnej materii od strony merytorycznej. Z wyjątkiem nielicznych, wymienionych w recenzji potknięć, widoczna jest staranna redakcja tekstu, tabel, rycin i map.

Przedstawiona do oceny rozprawa przekonuje, że Pan mgr. Edwin Raczko

opanovał w wystarczajacym zakresie teorię i praktykę metod teledetekcji hiperspektralnej od etapu pozyskiwania danych, przez ich przygotowanie i optymalizację, po klasyfikację gatunków drzew. Natomiast tekst pracy przygotowany w dojrzały i profesjonalny sposób pokazuje, że Autor opanovał technikę pisania rozpraw naukowych.

W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr Edwina Raczko wnosi oryginalny i wartościowy wkład do poznania problematyki teledetekcji, a w szczególności zastosowania danych hiperspektralnych i sztucznych sieci neuronowych do klasyfikacji gatunków drzew, a tym samym ma istotne znaczenie naukowe. Jestem przekonany, że rozprawa ta odpowiada wymogom stawianym dysertacjom doktorskim zgodnie z przepisami ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.) oraz wnoszę do Wysokiej Rady Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego o dopuszczenie Pana mgr Edwina Raczko do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

W uznaniu walorów naukowych rozprawy doktorskiej Pana mgr Edwina Raczko wnoszę do Wysokiej Rady wniosek o wyróżnienie jej stosowną nagrodą.

Bronisław Wojcik

