

prof. dr hab. Barbara Tokarska-Guzik

Uniwersytet Śląski

Wydział Biologii i Ochrony Środowiska

Katedra Botaniki i Ochrony Przyrody

40-032 Katowice, ul. Jagiellońska 28

e-mail: barbara.tokarska-guzik@us.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr Marleny Kycko

Zastosowanie teledetekcji hiperspektralnej do oceny kondycji dominujących gatunków muraw wysokogórskich Tatrzańskiego Parku Narodowego

przygotowanej pod kierunkiem Pana dr hab. Bogdana Zagajewskiego
w Zakładzie Geoinformatyki, Kartografii i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów
Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego

Koncepcja i cele rozprawy

Problematyka wpływu człowieka na szatę roślinną od wielu lat znajduje się w kręgu zainteresowań badaczy reprezentujących różne dyscypliny naukowe, nie tylko przyrodnicze. Przeprowadzenie rzetelnej i obiektywnej oceny stanu środowiska oraz skuteczne zarządzanie jego zasobami wymagają zgromadzenia wiarygodnych i aktualnych danych w różnych skalach przestrzennych. Pozwalają na to rozwijające się technologie GIS i metody teledetekcyjne, które umożliwiają zdalne pozyskanie danych przestrzennych, identyfikację składników środowiska przyrodniczego oraz obiektywną ocenę zmian jakim podlegają one w czasie (np. Pettorelli i in. 2014; Kopeć i in. 2016; Quattrochi i in. 2017).

Rozprawa doktorska Pani mgr Marleny Kycko podejmuje – aktualny i ważny z punktu widzenia poznawczego i praktycznego – problem związany z możliwością zastosowania teledetekcji spektralnej do oceny stanu roślinności narażonej na presję antropogeniczną, na przykładzie muraw wysokogórskich Tatrzańskiego Parku Narodowego. Autorka rozprawy przedstawiając motywy podjęcia tematu pracy zwraca także uwagę na fakt, że „wraz z rozwojem technik hiperspektralnych wzrasta liczba metod i algorytmów stosowanych w monitoringu roślinności”.

Głównym celem badań Pani mgr Marleny Kycko była ocena kondycji roślin gatunków dominujących w murawach wysokogórskich Tatrzańskiego Parku Narodowego (TPN), przeprowadzona z wykorzystaniem metody integrującej cechy hiperspektralne roślin oraz referencyjne zmienne biofizyczne. Doktorantka wskazała ponadto na cel aplikacyjny swoich badań tj. uzyskanie potwierdzenia przydatności teledetekcji hiperspektralnej do oceny kondycji i monitoringu muraw wysokogórskich.

Pani mgr Kycko postanowiła na podstawie własnych badań zweryfikować hipotezę zakładającą, że „cechy fizjologiczne, morfologiczne i anatomiczne roślinności (powinno być: „roślin”) wpływają na jej właściwości spektralne pozwalając na ocenę kondycji gatunków muraw wysokogórskich za pomocą detektorów hiperspektralnych”.

Autorka założyła, że weryfikację hipotezy przeprowadzi na przykładzie gatunków roślin dominujących w murawach wysokogórskich TPN, odpowiadając na następujące pytania badawcze: (i) które zakresy spektrum oraz wskaźniki teledetekcyjne są optymalne do oceny kondycji roślinności wysokogórskiej ?; (ii) czy metody naziemnej teledetekcji hiperspektralnej pozwalają odróżnić roślinność uszkodzoną przez wydeptywane od roślinności referencyjnej ?; (iii) w jaki sposób roślinność muraw wysokogórskich reaguje na wydeptywane ? czy zmiany te są utrwalane na kolejne lata, czy też roślinność podlega regeneracji ?; (iv) jaki jest stan dominujących gatunków muraw wysokogórskich TPN ?

Cele pracy wraz ze szczegółowymi pytaniami badawczymi Doktorantka przedstawiała na tle przeglądu literatury, w części wstępnej opracowania (rozdz. 1-4) opisując dotychczasowe zastosowania teledetekcji hiperspektralnej i bioradiometrii w badaniach roślinności oraz przybliżając dotychczasowy zakres badań nad roślinnością wysokogórską. Pani mgr Kycko przywołuje w tej części dysertacji kilkaset prac odwołujących się do podjętej problematyki, sięgając do opracowań przygotowanych w okresie ostatniego stulecia.

Struktura i formalna strona rozprawy

Rozprawa doktorska Pani mgr Marleny Kycko składa się z dziewięciu rozdziałów: (1) *Wstęp*; (2) *Teledetekcja hiperspektralna i bioradiometria w badaniach roślinności*; (3) *Fluorescencja chlorofilu*; (4) *Zarys badań nad roślinnością wysokogórską*; (5) *Obszar i obiekt badań*; (6) *Metodyka badań*; (7) *Wyniki badań*; (8) *Analizę i dyskusję uzyskanych wyników*; (9) *Podsumowanie i wnioski*. Pracę zamykają spisy literatury, rycin i tabel. W skład rozdziałów głównych wchodzi podrozdziały niższej rangi, szczególnie liczne w rozdziałach *Metodyka* (sześć podrozdziałów) i *Wyniki* (dziewięć).

Zasadniczy tekst pracy obejmuje 121 stron wydruku komputerowego, na kolejnych kilkudziesięciu (str. 124-156) mieści się wykaz cytowanej literatury, który liczy blisko 400 pozycji,

stanowiących istotne i wiarygodne źródło informacji odnoszące się do tematyki pracy oraz spis rycin (157-159) i tabel (159-160).

Dobór literatury, obejmujący zarówno pozycje klasyczne jak i najnowsze z zakresu podejmowanej problematyki badawczej, jest odpowiedni (choć nie wyczerpujący), a poszczególne pozycje właściwie wykorzystane i przywołane w tekście.

Na część ilustracyjną pracy składają się ryciny, w tym fotografie (44) i tabele (15).

Do opracowania dołączony jest abstrakt w języku angielskim wraz ze słowami kluczowymi (w języku polskim i angielskim).

Struktura pracy odpowiada ogólnym zasadom konstrukcji tego typu rozpraw. Moim zdaniem rozdziały 2, 3 i 4, prezentujące przegląd i zakres dotychczasowych badań roślinności z wykorzystaniem metod teledetekcyjnych, można było wyodrębnić jako podrozdziały w jednym zbiorczym rozdziale przeglądowym.

Pod względem językowym i redakcyjnym praca nie budzi większych zastrzeżeń. Maszynopis został przygotowany starannie, z nielicznymi usterkami merytorycznymi oraz błędami stylistycznymi i interpunkcyjnymi (zostały naniesione w maszynopisie pracy, przykłady podaję poniżej w uwagach szczegółowych).

Zastrzeżenia dotyczą niektórych terminów używanych przez Autorkę dysertacji, w tym szczególnie „roślina” – „roślinność” oraz „bioróżnorodność”. W większości przypadków Autorka przytacza niezbędne definicje, szkoda, że nie zrobiła tego i w tym przypadku. Moje wątpliwości dotyczą także określenia „baldachim” („baldachim roślin/roślinności”), które jak przypuszczam zostało dosłownie przetłumaczone z języka angielskiego. Użycie terminu, który nie jest jeszcze szerzej używany w polskojęzycznej literaturze przedmiotu, wymagałoby moim zdaniem dodatkowego wyjaśnienia/zdefiniowania.

Strona graficzna opracowania w mojej ocenie zyskałaby gdyby zamieszczone ryciny (m.in. 15 i 16, 20) zostały przygotowane w większym formacie. Uwaga ta dotyczy zwłaszcza ryciny 18 (str. 48), ilustrującej pokrój i cechy morfologiczne badanych gatunków roślin – moim zdaniem powinna być przygotowana co najmniej jako tablica A4. Rozumiem jednak podejście Autorki, która zapewne kierowała się potrzebą ograniczenia objętości pracy.

Zakres badań i zastosowane metody

Przedmiotem zainteresowania Doktorantki są murawy wysokogórskie piętra alpejskiego i subalpejskiego w polskiej części Tatr, charakteryzujące się różnym stopniem naturalności i przekształcenia pod wpływem czynników antropogenicznych, do których zaliczane jest wydeptywanie.

Pani mgr Kycko wytypowała do badań osiem gatunków roślin uznanych na podstawie wcześniejszych badań za dominujące składniki muraw wysokogórskich. Są to rośliny jednoliścienne o podobnym typie wzrostu (większość gatunków tworzy kępy) należące do rodzin Juncaceae (sitowate) i Poaceae (wiechlinowate). Rodzinę Juncaceae reprezentują dwa gatunki należące do odrębnych rodzajów: *Juncus trifidus* (sit skucina) i *Luzula alpino-pilosa* (kosmatka brunatna), natomiast rodzinę Poaceae sześć gatunków: *Agrostis rupestris* (mietlica skalna), *Deschampsia flexuosa* (śmialek pogięty), *Festuca airoides* (kostrzewa niska) i *F. picta* (kostrzewa barwna), *Oreochloa disticha* (boimka dwurzędowa) oraz *Nardus stricta* (bliźniczka psia trawka).

Badania prowadzone były w obrębie obszarów (Dolina Gaśienicowa, Beskid, Kasprowy Wierch, Kopa Kondracka i Ciemniak) wybranych na podstawie kryterium intensywności ruchu turystycznego, na wyznaczonych poligonach uszeregowanych w transektach w bezpośrednim sąsiedztwie szlaków turystycznych i wydzielonych w grupy na podstawie stopnia antropogenicznego przekształcenia/oddziaływania: (a) poligony położone w obrębie obszarów wydeptywanych, czyli zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie szlaków, w miejscach wyraźnie zniszczonych przez turystów (znajdujących się w wykazie TPN); (b) poligony referencyjne, położone w obszarach nie podlegających presji wydeptywania, w odległości ok. 10 m w stosunku do obszarów wydeptywanych, na siedliskach o podobnych warunkach; (c) poligony zlokalizowane w obszarach rekultywowanych (m.in. z użyciem mat jutowych), tj. wyodrębnionych przez TPN z ograniczonym dostępem, np. przez fladry.

Pomiary prowadzono w latach 2011-2014 na poligonach badawczych obejmujących homogeniczne kępy/płaty analizowanych gatunków, dwukrotnie w sezonie wegetacyjnym: na początku i w końcu sezonu turystycznego. Dla wszystkich gatunków zebrano charakterystyki spektralne (spektrometr ASD FieldSpec 3 oraz sonda ASD PlantProbe) oraz mierzono parametry biofizyczne jak zawartość chlorofilu, fluorescencja chlorofilu, akumulacja energii PAR oraz stresu wodnego, które posłużyły do weryfikacji teledetekcyjnych wskaźników roślinności pozyskanych z charakterystyk spektralnych.

Autorka wykonała ok. 7300 pomiarów (przy czym każdy pomiar jest średnią z 25), posługując się odpowiednimi miernikami/urządzeniami pomiarowymi. Zebrane spektra pozwoliły na obliczenie teledetekcyjnych wskaźników roślinności w poszczególnych okresach badawczych i w płatach roślinności. W przeprowadzonych analizach wykorzystane zostały zmienne środowiskowe (nachylenie i ekspozycja stoków, wysokość bezwzględna, typ utworu geologicznego i rodzaje gleb) pozyskane z materiałów źródłowych TPN, które zostały powiązane z teledetekcyjnymi wskaźnikami roślinności wyliczonymi na podstawie pomiarów w poszczególnych poligonach badawczych. Uzyskane wyniki oceniono odpowiednimi testami

statystycznymi (m.in. metoda Warda, test Shapiro-Wilka, ANOVA, test U Manna-Whitneya), podjęto także działania eliminujące/minimalizujące ewentualne błędy na etapie prowadzonych pomiarów (kalibracja sprzętu) jak i opracowywania danych.

Przyjęcie precyzyjnych kryteriów i logicznego planu badań oraz odpowiedni dobór metod badawczych to podstawowe warunki realizacji postawionego celu badawczego, dlatego – a także z obowiązku recenzenta – pragnę zwrócić uwagę Autorki na – moim zdaniem – pewne nieścisłości i niedopowiedzenia, które mają następnie wpływ na właściwą interpretację wyników, a w dalszej perspektywie także możliwość ewentualnego powtórzenia badań. Moim zdaniem Autorka powinna bardziej precyzyjnie wyjaśnić kryteria na podstawie których wybrała gatunki roślin do badań. Istotnym uzupełnieniem tej części pracy, byłyby ponadto dane wyjściowe charakteryzujące poszczególne poligony badawcze, przedstawione np. w formie tabelarycznej i dołączone jako załącznik.

Uzyskane wyniki i główne walory rozprawy doktorskiej

Pani mgr Marlena Kycko prezentuje uzyskane wyniki w wyodrębnionych podrozdziałach rozprawy, omawiając kolejno (i) zróżnicowanie charakterystyk spektralnych wybranych do badań gatunków roślin; (ii) przydatność teledetekcyjnych wskaźników roślinności, jak ogólny stan: ARVI *Atmospherically Resistant Vegetation Index* i NMDI *Normalized Multi-band Drought Index*; zawartość i stan chlorofilu: RARSa *Ratio analysis of reflectance spectra algorithm chlorophyll a* i GI *Greenness Index*; ilość światła wykorzystanego w procesie fotosyntezy: SIPI *Structure Insensitive Pigment Index* i PRI *Photochemical Reflectance Index*; ilość azotu: NDNI *Normalized Difference Nitrogen Index*; ilość suchej masy w roślinie: PSRI *Plant Senescence Reflectance Index* i CAI *Cellulose Absorption Index*; zawartość wody w roślinności: WBI *Water Band Index* i NDWI *Normalized Difference Water Index* dla oceny kondycji płatów roślin analizowanych gatunków rosnących na wyznaczonych poligonach badawczych; (iii) wpływ wybranych czynników środowiskowych na kondycję roślin gatunków dominujących w murawach wysokogórskich oraz (i) ocenę stanu gatunków roślin wytypowanych do badań.

Wyniki uzyskane przez Autorkę rozprawy potwierdziły zróżnicowanie spektralne analizowanych gatunków roślin, z jednoczesnym wyodrębnieniem różnic pomiędzy roślinami rosnącymi na poligonach wyznaczonych w obszarach wydeptywanych i w strefach wolnych od tej formy antropopresji (referencyjnych). Zastosowane w badaniach metody, w tym integracja danych pozyskanych z wykorzystaniem teledetekcji hiperspektralnej i bioradiometrii oraz wybranych cech roślin i czynników środowiskowych pozwoliły na ocenę kondycji roślin badanych gatunków rosnących w zróżnicowanych warunkach siedliskowych. Autorka tym samym

potwierdziła postawioną hipotezę. Ta część wyników należy moim zdaniem do szczególnie interesujących i wartościowych pod względem naukowym.

Dużą wartość posiadają wyniki o charakterze aplikacyjnym. Intencją Autorki było uzyskanie potwierdzenia przydatności teledetekcji hiperspektralnej do oceny kondycji muraw wysokogórskich oraz rekomendacja narzędzi, które mogą znaleźć zastosowanie w monitoringu i skutecznej ochronie gatunków roślin i zbiorowisk. Wdrożenie tych nieinwazyjnych – co podkreśla Autorka – metod ma szczególne znaczenie dla obszarów cennych przyrodniczo, objętych różnymi formami ochrony i znajdujących się pod wpływem nasilającej się antropopresji.

Obszerna *Analiza i dyskusja uzyskanych wyników* jest napisana w sposób przekonujący, na tle dobrze dobranych wyników uzyskanych przez innych autorów. Szkoda, że Autorka nie wyodrębniła wyraźniej w treści tego rozdziału „części tematycznych”, odnoszących się do postawionej hipotezy i zadanych pytań. Wprawdzie Doktorantka nie uzyskała jednoznacznej odpowiedzi na wszystkie postawione pytania, odniosła się jednak do uzyskanych wyników krytycznie, wskazując na możliwe ograniczenia.

Podsumowując mam podstawy twierdzić, że recenzowana rozprawa wnosi nowe elementy do wiedzy w zakresie teledetekcji środowiska (in. teledetekcji ekologicznej; ang. *ecological remote sensing*), a wskazane wyżej krytyczne uwagi nie wpływają na ostateczną bardzo pozytywną jej ocenę.

Zwraca uwagę interdyscyplinarny charakter pracy, wymagający od Doktorantki zarówno dysponowania niezbędną wiedzą z zakresu teledetekcji oraz biologii i ekologii roślin jak również opanowania różnorodnych umiejętności, m.in. obsługi specjalistycznego sprzętu/aparatury pomiarowej, programów komputerowych i statystycznych na poszczególnych etapach badań terenowych i kameralnych związanych z pozyskaniem danych a następnie analizą i interpretacją uzyskanych wyników.

Badania podjęte przez Doktorantkę mają ponadto istotne znaczenie praktyczne dla oceny stanu i potrzeb ochrony różnorodności biologicznej, tym bardziej że współcześnie różne formy oddziaływania człowieka w środowisku nasilają się w skali poszczególnych regionów jak i całego globu. W moim przekonaniu praca Pani mgr Marleny Kycko jest ponadto odpowiedzią na rosnące zapotrzebowanie na wypełnienie luki w naszej wiedzy, dotyczącej opracowania nowych, wiarygodnych metod szybkiej detekcji stanu elementów środowiska przyrodniczego.

Uwagi szczegółowe

W trakcie lektury recenzowanej pracy nasunęły mi się spostrzeżenia, które pragnę polecić uwadze Autorki:

- we Wstępie przytacza Pani definicję „stresu” za *Słownikiem współczesnego języka polskiego* (Dunaj 1996); ze względu na charakter opracowania sugeruję dołączenie wyjaśnienia jak pojęcie to jest rozumiane w naukach biologicznych;

- w mojej ocenie tytuł Rozdz. 3 *Fluorescencja chlorofilu* powinien bardziej nawiązywać do realizowanego tematu pracy:

np. Fluorescencja chlorofilu / pomiar fluorescencji chlorofilu jako wskaźnik efektywności fotosyntezy/ w badaniach roślinności /zastosowanie fluorescencji chlorofilu w badaniach roślinności;

- w naukowych opracowaniach biologicznych stosowane są w większości nazwy łacińskie gatunków roślin (jest to szczególnie istotne w tekstach o zasięgu międzynarodowym), dlatego proszę o rozważenie użycia obu nazw w zestawieniach tabelarycznych (np. Tabela 4).

- niefortunne sformułowania lub ‘skrótów myślowe’, np.:

str. 9 wiersz 28 „Człowiek poprzez użytkowanie ziemi, zanieczyszczanie środowiska, gatunki inwazyjne oraz zmiany atmosferyczne, oddziałuje na przyrodę i jej bioróżnorodność” – poprawnie byłoby: wprowadzanie/introdukcję (celowe i/lub niezamierzone) gatunków inwazyjnych...; „zmiany atmosferyczne” – jak należy rozumieć w kontekście przywołanego cytatu ?

str. 10, akapit od góry strony – ten fragment tekstu sprawia wrażenie „przeskoku myślowego”; szczególnie brakuje powiązania ostatniego zdania kończącego się przywołaniem pracy Symonides (2007) z wcześniejszym tekstem.

str. 14. akapit u dołu strony „Charakterystyki spektralne umożliwiają monitorowanie, charakteryzowanie gatunków...” - czy chodzi o identyfikowanie/detekcję ?

str. 21 wiersz 18 – „powierzchnia baldachimu” – sformułowanie wyrwane z kontekstu staje się niezrozumiałe: „poprzez analizę różnicy temperatury radiacyjnej powierzchni baldachimu i termodynamicznej powietrza określa się efektywność ewapotranspiracji”.

- opisy rycin i tabel – część tytułów/opisów jest nieprecyzyjna i/lub niekompletna; np. Ryc. 20. Obszary badawcze – powinno być: Obszary badawcze i poligony badawcze / Obszary badawcze wraz z lokalizacją poligonów badawczych na terenie Tatrzańskiego Parku Narodowego. Ryc. 22. powinien mieć nadrzędny tytuł do wszystkich składających się na niego części (fotografii).

- uwadze Autorki umknęła publikacja Janusza B. Falińskiego (1973) poświęcona reakcji runa leśnego na wydeptywanie w świetle badań eksperymentalnych.

- przykładowe pomyłki dotyczące cytowanej literatury:

Lokalizacja w tekście	jest	w spisie literatury
Tabela 1 str. 16	Dawson i in 1998	Dawson, Curran 1998
Tabela 2 str. 17	Daughtry 2000	Daughtry i in. 2000
str. 19	Adams i in. 1990	1999
str. 20 wiersz 6	North 2001	2002
str. 20 wiersz 19	Roy 1898	1989
str. 29, wiersz 25	Rao, Hall 1999	Hall, Rao 1999
str. 30 wiersz 17	Berkhout 1996	Berkhout i in. 1996
str. 31	Szafer (1927)	Szafer i in.
str. 33 wiersz 10	Cole 1993	Cole, Bayfield, 1993
str. 33 wiersz 21	Svajda i in. 2015	2016
str. 34 wiersz 6	Laliberte i in. 2014	2015
str. 34 wiersz 25	Jakomulska 1990a	1999a
str. 34 wiersz 31	Zwijacz-Kozica i in. 2010	dwie pozycje a i b
str. 46 wiersz 5	Paryska, Paryski 2004	1995
str. 48 wiersz 3	Rostafiński i in. 1973	Rostafinski, Seidl, 1973
str. 60 wiersz 30	StatSoft, 2012	2011

Pozostałe uwagi, zróżnicowane co do rangi, zaznaczyłam w maszynopisie pracy.

Konkluzja

W podsumowaniu recenzji pragnę powtórzyć, że praca Pani mgr Marleny Kycko jest bardzo dobrym opracowaniem naukowym, opartym na oryginalnym i wiarygodnym materiale. Koncepcja pracy oraz sposób opracowania i prezentacji wyników potwierdzają, że Autorka potrafi rozwiązywać postawione problemy i doskonale radzi sobie z interpretacją wyników.

W konkluzji stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr Marleny Kycko spełnia warunki określone w artykule 13 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; Dz.U. z 2005 r., nr 164, poz. 1365; **Dz.U. z 2011 r., nr 84, poz. 455**). Zwracam się zatem do Rady Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego z wnioskiem o jej przyjęcie oraz wnoszę o dopuszczenie Kandydatki do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk o Ziemi i dyscyplinie geografia.

W mojej ocenie, przedłożona do recenzji rozprawa zasługuje na wyróżnienie, o co wnioskuję do Rady Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.

Katowice, dn. 12 września 2017 r.

Barbara Tokarska-Guzik