



Dr hab. Ludwik Żołnierz

Wrocław, 4 lutego 2017 r.

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr Adriany Marcinkowskiej-Ochtyry pt. „Ocena przydatności obrazów hiperspektralnych APEX oraz maszyn wektorów nośnych (SVM) do klasyfikacji roślinności subalpejskiej i alpejskiej Karkonoszy”**

Promotorzy: dr hab. Bogdan Zagajewski,  
dr Anna Jarocińska

W ostatnich latach postęp w teledetekcji w zakresie sposobów pozyskiwania obrazów, jak i ich przetwarzania, otworzył niezwykle szerokie możliwości jej wykorzystania do celów poznawczych w różnych dziedzinach nauk przyrodniczych, a także w zastosowaniach praktycznych. Obydwa wspomniane aspekty – poznawczy i aplikacyjny odgrywają coraz większą rolę w badaniach ekosystemów naturalnych i złożonych z nich krajobrazów. Pozwalają zarówno poznawać zróżnicowanie biocenotyczne w różnych skalach przestrzennych, jak również badać i monitorować właściwości siedlisk, stan aktualny roślinności, kierunki i dynamikę jej przemian, następstwa różnorodnych zaburzeń itp. Szybki rozwój metod przetwarzania obrazów, a w tym ich korekty i ekstrakcji informacji oraz algorytmów uczenia maszynowego pozwolą zapewne niebawem znacznie wzmocnić efektywność oraz podnieść jakość badań naukowych i programów monitoringu, rozszerzyć ich przestrzenny zakres, na przykład w obszarach trudno dostępnych i jednocześnie obniżyć ich koszty.

Przedstawiona do oceny praca doktorska opisuje wyniki kilkuletnich badań służących ocenie przydatności obrazów hiperspektralnych APEX i rozpoznawania wzorców przestrzennych z wykorzystaniem maszyn wektorów nośnych (SVM) w opisie roślinności subalpejskiej i alpejskiej Karkonoszy.

Plonem badań jest rozprawa doktorska licząca 156 stron o układzie właściwym dla reprezentowanej dyscypliny naukowej. Jej treść została podzielona na rozdziały i podrozdziały w sposób logiczny i przejrzysty.

Rozprawę otwiera krótki „Wstęp”, w którym Autorka m.in. definiuje pojęcie teledetekcji hiperspektralnej, wskazuje niektóre jej zastosowania i główne problemy w klasyfikacji obrazów wielospektralnych. Tym samym sygnalizuje zagadnienia szczegółowo opisywane w kolejnych rozdziałach. Do rozdziału tego wkradła się pewna nieścisłość. Metoda Braun-Blanqueta leży u podstaw fitosocjologii, sama w sobie nie jest jednak sposobem kartowania roślinności. Uczony ten opracował hierarchiczny system jednostek fitosocjologicznych, które są wykorzystywane w definiowaniu wydzieleń przy mapowaniu roślinności. Pozycji Braun-Blanquet (1965), a także Raczko i in. (2014) brak w wykazie literatury.

We „Wstępie” sformułowane zostały trzy cele badań o różnym charakterze. Pierwszy, określony jako poznawczy zakłada „opracowanie i przetestowanie algorytmu klasyfikacji wysokorozdzielczych hiperspektralnych danych APEX do klasyfikacji roślinności”. Drugi, aplikacyjny, dotyczy opracowania „mapy rozkładu dominujących zbiorowisk roślinnych piętra subalpejskiego i alpejskiego Karkonoszy”. Trzeci, metodyczny, sprowadza się do określenia „przydatności lotniczych zobrazowań hiperspektralnych i metody maszyn wektorów nośnych (*Support Vector Machines* – SVM) do klasyfikacji roślinności subalpejskiej i alpejskiej Karkonoszy”.

Patrząc z perspektywy botanicznej problematyczne wydaje się określenie „klasyfikacja roślinności” (które występuje również w tytule rozprawy). W rozumieniu klasycznej fitosocjologii klasyfikacja roślinności oparta jest o analizy składu gatunkowego roślinności i identyfikację gatunków charakterystycznych oraz wyróżniających poszczególne syntaksony. Również współczesne metody numeryczne, wolne od pierwiastka subiektywizmu, polegają na identyfikacji

wzorców składu gatunkowego zbiorowisk. Autorka nie prowadziła tak rozumianej klasyfikacji roślinności. Jej działania polegały na zdalnej identyfikacji jednostek klasyfikacyjnych roślinności wyróżnionych metodami tradycyjnymi. Sądzę, że stosowne wyjaśnienie z wyraźnym rozróżnieniem znaczeń pojęcia „klasyfikacja roślinności” w kontekstach teledetekcji i fitosocjologii warto umieścić w przyszłych publikacjach wykorzystujących materiał opisany w dysertacji. Sugerowałbym również usunięcie określenia „dominujące” w odniesieniu do zbiorowisk roślinnych w drugim celu badań. Kartowane były zbiorowiska o różnym udziale ilościowym w roślinności Karkonoszy.

W treści „Wstępu” zabrakło mi informacji o tym, co skłoniło Autorkę do podjęcia tego właśnie tematu badań i wyboru Karkonoszy jako terenu ich realizacji, szerszego przedstawienia istniejących zastosowań i perspektyw rozwoju ocenianych metod oraz określenia, jakie elementy w przyjętym planie badań są nowatorskie w stosunku do aktualnego stanu wiedzy.

Bardzo interesujące są rozdziały 1-3, w których przedstawione zostały zagadnienia teoretyczne i praktyczne teledetekcji hiperspektralnej dotyczące pozyskiwania i przetwarzania obrazów, procedur przetwarzania danych APEX, klasyfikacji danych teledetekcyjnych i zasad uczenia maszynowego z wykorzystaniem algorytmu maszyn wektorów nośnych. W rozdziale 4 zamieszczony został szeroki przegląd zastosowań danych hiperspektralnych w analizach przestrzennych dotyczących poszczególnych gatunków i roślinności. Godny podkreślenia jest przystępny sposób przedstawienia treści trudnych w odbiorze dla osób bez specjalistycznego przygotowania.

W obszernym rozdziale 5 „Obszar i obiekt badań” Autorka opisała podstawowe właściwości, środowiska abiotycznego terenu badań z uwzględnieniem głównych cech klimatu, budowy geologicznej, geomorfologii, gleb i sieci hydrologicznej Karkonoszy. W dalszej części rozdziału zamieszczony został przegląd wysokogórskich zbiorowisk roślinnych Karkonoszy z charakterystyką właściwości topografii i cech siedlisk decydujących o ich rozmieszczeniu oraz wskazaniem charakterystycznych gatunków. Rozdział napisany jest poprawnie i dobrze zaznajamia czytelnika z głównymi elementami zagadnień przyrodniczych

terenu badań. Mam tu tylko kilka uwag, komentarzy i sugestii, które przedstawiam poniżej.

Sądzę, że warto byłoby nieco szerzej przedstawić rolę budowy geologicznej polskiej części masywu w ukształtowaniu oligotroficznych i kwaśnych siedlisk, co odciska się na postaci roślinności i specyfice florystycznej. W tabeli 2 wśród zbiorowisk należących do typu roślinności „traworośla” znajduje się kategoria „traworośla wysokogórskie”, tymczasem przynajmniej jedno z pozostałych wymienionych w tym typie – traworośle trzcinnika owłosionego – z pewnością jest właśnie traworoślem wysokogórskim. Do tego problemu wrócę w uwagach do rozdziału „Wyniki”.

W opisie roślinności skał i piargów (str. 63) pominięty został zespół krytycznie zagrożonej paproci zmienki górskiej *Cryptogrammetum crispae*, dla którego Karkonosze są jedynym w Polsce obszarem występowania.

Na stronie 66 Autorka pisze o zamieraniu roślinności w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX w. To określenie z pewnością jest właściwe dla objętych wówczas klęską ekologiczną lasów. Inne zbiorowiska ulegały wtedy i nadal ulegają przekształceniom, a w niektórych wypadkach znaczącej degradacji, lecz nie zamieraniu. Wyjątkiem jest wspomniane wcześniej przez Autorkę zamieranie ziołorośli paprociowych wietlicy alpejskiej *Athyrium distentifolii*, jakie zachodzi w ostatnich latach. Pisząc o przyczynach niekorzystnych wpływów środowiskowych na roślinność Karkonoszy (str. 67) Autorka wymienia: kwaśne opady, przemiany właściwości gleb, zaburzenie równowagi jonowej, zwiększenie przyswajalności nieokreślonych bliżej substancji toksycznych, ubóstwo mikroflory bakteryjnej, silne wiatry, zwiększenie podatności roślin na choroby. Umieszczenie tylu (rzeczywistych) problemów w jednym akapicie daje jednak wrażenie pewnego chaosu.

Z kolei we wstępie do tego rozdziału wspomniana jest rola warunków geologicznych, a także interakcji międzygatunkowych w tworzeniu zbiorowisk roślinnych. Cytowane są pozycje: Żołnierz i Wojtuń (2013) oraz artykuł klasyka dwudziestowiecznej ekologii Frederica Clementsa z roku 1936. Wydaje się jednak, że prawdy podstawowe i powszechnie znane nie wymagają cytowań.

Rozdział 6 „Metodyka pracy” opisuje techniki pozyskiwania, przetwarzania i klasyfikacji danych hiperspektralnych APEX. Weryfikacja i klasyfikacja danych obrazowych prowadzona była dwukrotnie w kolejnych latach w toku prac terenowych na wyznaczonych czterech obszarach testowych. Wykorzystano w nich mapę roślinności rzeczywistej ekosystemów nieleśnych Karkonoskiego Parku Narodowego z roku 2002. Na podstawie weryfikacji algorytmu klasyfikacji na obszarze testowym Autorka zdecydowała się zagregować do jednej klasy różne postacie roślinności nitrofilnej, a także zarośla kosodrzewiny na gruntach mineralnych z tymi na podłożu torfowym uzasadniając to podobieństwem spektralnym i fizjonomicznym. Decyzja ta wydaje się zasadna, choć sugerowałbym w przyszłych pracach wydzielenie zespołu szczawiu alpejskiego *Rumicetum alpini* odznaczającego się wyraźną odrębnością fizjonomiczną i – jak przypuszczam – również spektralną. Rozległe płaty tego zespołu na łące przy schronisku Pod Łabskim Szczytem i na Hali Szrenickiej są reliktem gospodarki pasterskiej i znacząco odciskają się na krajobrazie Karkonoszy. Użyteczność narzędzi teledetekcyjnych w kartowaniu roślinności subalpejskiej bardzo by zyskała, gdyby udało się spektralnie oddzielić zarośla kosodrzewiny na podłożu mineralnym od zarośli na torfie. Granice te nie są widoczne w zakresie promieniowania widzialnego i nie zaznaczają się na ortofotomapie, a weryfikacja terenowa jest bardzo uciążliwa. Czy nie można wykorzystać do tego celu różnic spektralnych wynikających z odmiennej wilgotności siedlisk?

Kilka pytań do Autorki i uwag dotyczących treści rozdziału „Metodyka pracy” zestawiam poniżej.

Co znaczy określenie „homogeniczne gatunkowo łąki” (str. 69)? Czy to łąki silnie zdominowane przez jeden gatunek czy przeciwnie – takie o wyrównanych udziałach ilościowych gatunków. W obu wypadkach można oczekiwać jednolitego odbicia spektralnego, ich struktura biocenotyczna jest jednak kontrastowo różna.

Czy obszary testowe Mały Staw 1 i 2 pokrywały się, jak to sugeruje ryc.

26?

Czy obszar testowy Mały Staw 1 rzeczywiście obejmował górne partie zakresu wysokościowego dolnego regła, gdzie można spotkać płaty boru świerkowo-jodłowego (tab. 4)?

Współczynnik kappa zdefiniowany został na stronie 85. Ułatwieniem dla czytelnika byłoby skierowanie go do tej definicji przy pierwszym wzmiankowaniu tej miary na stronie 40.

Również w tym rozdziale przydatne byłoby zwrócenie uwagi na odmienne znaczenia pojęcia „klasa roślinności” w teledetekcji i fitosocjologii. W tej ostatniej dziedzinie to najwyższy rangą syntakson – jednostka klasyfikacji roślinności.

W pierwszej części rozdziału „Wyniki” Autorka przedstawia dokładności klasyfikacji przy zastosowaniu różnych funkcji jądra SVM i zmiennej liczbie zastosowanych kanałów. Najwyższa dokładność całkowita została osiągnięta dla maksymalnej liczby kanałów i przy zastosowaniu funkcji liniowej.

Autorka zauważa brak możliwości identyfikacji lub zmianę położenia niektórych płatów zbiorowisk w porównaniu z mapą roślinności rzeczywistej z roku 2002 traktowaną jako materiał referencyjny. Zjawisko to może być rezultatem obserwowanych przekształceń roślinności, sądzę jednak, że w pewnym stopniu może być też konsekwencją niedoskonałości ortofotomapy z roku 2001. W porównaniu wyników klasyfikacji dla obszaru Mały Staw 2 z mapą roślinności nieleśnej z 2002 r. na tej ostatniej wkradła się nieścisłość wynikająca z błędu reprodukcji: na Hali Złotówka nie zaznaczono wydzielenia dominujących ilościowo zbiorowisk łąkowych.

Najbardziej przyciągającą uwagę częścią rozdziału jest dla mnie przedstawiona na ośmiu arkuszach mapa roślinności subalpejskiej i alpejskiej całego pasma Karkonoszy. W ocenie jej zawartości ograniczę się do części po polskiej stronie granicy, moja znajomość roślinności czeskiej strony pasma pozostaje wciąż niepełna.

Już na pierwszym arkuszu mapy zwraca uwagę klasa „traworośla wysokogórskie”. Co ciekawe jej wydzielenia występują tylko w zachodniej części Karkonoszy (arkusze 1-4), niemal wyłącznie na północnych stokach. Moim zdaniem kategoria ta jest błędnie wyróżniona. Na podstawie analizy

poszczególnych wydzieleń można je zakwalifikować do następujących kategorii: 1) zbiorowiska zastępcze w różnych stadiach sukcesji wtórnej odtwarzającej bór górnoreglowy; 2) luźne świerczyny górnoreglowe, zwłaszcza w ekotonowej strefie górnej granicy lasu (np.: Kamiennik – Szrenica – Kocioł Szrenicki); 3) kompleksy kosodrzewiny z traworoślami i/lub murawami bliźniczkowymi (np. na wschodnich stokach Śmielca ponad Czarnym Kotłem Jagniątkowskim); 4) powierzchnie błędnie zaklasyfikowane (np.: podszczytowe partie Szrenicy, Śnieżne Kotły).

Na arkuszu 2 wydzielona została mozaika zbiorowisk z licznymi płatami torfowisk. Są to jednak torfowiska przejściowe, a nie wysokie. Mylnie został zaznaczony przecięty granicą płat torfowiska wysokiego w podszczytowej partii Łabskiego Szczytu. W tym miejscu znajdują się zarośla kosodrzewiny z murawami bliźniczkowymi w lukach.

Na arkuszu 3 znalazły się Śnieżne Kotły – zaliczane do obszarów o najwyższej różnorodności florystycznej i biocenotycznej i tym samym o niezwykle istotnym znaczeniu dla przyrodniczej specyfiki Karkonoszy. Niestety mapa nie oddaje tej różnorodności roślinności. Błędnie zaznaczone zostały we wnętrzu kotłów „traworośla wysokogórskie”, o czym już wspomniałem powyżej. Dużą część wnętrza kotłów zajmują wymaskowane cienie ścian skalnych. Głębokie cienie były jednym z głównych problemów przy identyfikacji i kartowaniu płatów roślinności w kotłach polodowcowych również w roku 2002. Docelowo treść tych partii terenu powinna być uzupełniona z wykorzystaniem innych metod. Uwaga ta dotyczy oczywiście także innych tego rodzaju obszarów na mapie. Wartość informacyjną tej części mapy znacząco obniża również brak zaznaczonego kompleksu zbiorowisk naskalnych żyły bazaltowej oraz sąsiadujących z nim płatów zarośli czeremchy i jarzębiny oraz bogatych traworośli trzcinnika leśnego w Małym Śnieżnym Kotle. W wielkim Śnieżnym Kotle widoczny jest brak zaznaczenia płatów zespołu zmienki górskiej, dla którego Karkonosze są jedynym w Polsce miejscem występowania. Ponad Śnieżnymi Kotłami w rejonie telewizyjnej stacji przekaźnikowej błędnie zaznaczono duże płaty muraw bliźniczkowych.

Na arkuszach 4 i 5 zawyżona została powierzchnia zbiorowiska borówki czarnej w rejonie Przełęczy Karkonoskiej. W większości wypadków w obrębie tych

wydzieleń znajdują się bory górnoreglowe o różnym stopniu zachowania i wczesne stadia sukcesji wtórnej, w których borówczyska można uznać za zbiorowiska zastępcze.

Arkusze 6 przedstawia rejon Kotłów Wielkiego i Małego Stawu. W Kotle Wielkiego Stawu błędnie zaznaczone zostały płyty świerczyn górnoreglowych nad południowym brzegiem i płyt torfowiska przejściowego przy brzegu północnym. Brak płytów borówczysk bażynowych na morenie nad północnym brzegiem. W zachodniej części Kotła Małego Stawu zdecydowanie zawyżone są powierzchnie zarośli czeremchy i jarzębiny. Dotyczy to również Białego Jaru i zachodniej części Kotła Łomniczki (arkusz 7). Zarośla liściaste występują tam w znacznej części w kompleksie zdominowanym przez kosodrzewinę.

Ostatnia uwaga ilustruje pewien ogólny problem. Przyjęte metody generalizacji znacznie zwiększają czytelność mapy, jednak dzieje się to kosztem eliminacji typowych dla piętra subalpejskiego układów kompleksowych roślinności. Kompleksy muraw bliźniczkowych z zaroślami kosodrzewiny, borówczysk czernicowych z traworoślami trzcinnika owłosionego i z ziołoroślami wietlicy alpejskiej oraz inne przenikające się zbiorowiska w bardzo wyraźny sposób zaznaczają się w krajobrazie wysokich partii Karkonoszy.

Mimo wskazanych błędów i niedoskonałości opracowanej mapy jestem zdania, że po wprowadzeniu niezbędnych korekt i uzupełnień będzie ona cennym materiałem dokumentującym różnorodność wysokogórskiej roślinności Karkonoszy. Jej dużą zaletą jest objęcie zasięgiem opracowania czeskiej części głównego grzbietu pasma.

W „Dyskusji” zwracają uwagę zbliżone dokładności klasyfikacji odpowiadających sobie zbiorowisk roślinnych w porównaniu z badaniami prowadzonymi w Tatrach. Dokładności te są wysokie na tle przytoczonych danych innych autorów. Autorka dostrzega problem ograniczeń jakości informacji zawartych w treści mapy powodowanych przez cienie topograficzne i widzi konieczność prowadzenia obserwacji w terenie przy wsparciu hiperspektralnymi danymi teledetekcyjnymi. Podzielam ten pogląd.



Rozprawa doktorska pani mgr Adriany Marcinkowskiej-Ochtyry ma w znacznej mierze charakter interdyscyplinarny. W jej ocenie koncentrowałem się na zagadnieniach botanicznych pozostając w zakresie swoich kompetencji. Lektura pracy dała mi jednak okazję zapoznania się z możliwościami współczesnych technik teledetekcyjnych i przetwarzania uzyskiwanych informacji. Pozostaję pod dużym wrażeniem tych możliwości. Spodziewam się, że Autorka wykorzystując opanowane metody będzie mogła w toku dalszej pracy naukowej nie tylko korygować i rozwijać zawartość informacyjną swojej mapy, ale rozszerzy jej zakres na cały obszar Karkonoszy. Szczerze ją do tego zachęcam. Taka mapa byłaby cenną pomocą w badaniach naukowych i zarządzaniu parkiem narodowym.

Wysoko oceniam wartość merytoryczną rozprawy pani mgr Adriany Marcinkowskiej-Ochtyry. Uznaję, że przyjęte cele badań zostały osiągnięte. Moje zgłoszone powyżej uwagi nie mają charakteru istotnych zarzutów. Traktuję je jako przesłanki do dyskusji naukowej i propozycje do wykorzystania przy poprawie opracowanej mapy roślinności.

Zalet ocenianej pracy doktorskiej upatruję również w jej stronie formalnej:

1) Rozprawa napisana jest poprawnym językiem i mimo trudnej materii w przystępny sposób. Zauważyłem tylko nieliczne potknięcia językowe i pomyłki. Ich krótką listę prześlę Autorce; 2) zwraca uwagę dobrze opracowany, przejrzysty i logiczny układ rozdziałów i podrozdziałów; 3) widoczna jest staranna redakcja tekstu, tabel, map i rysunków. Są one czytelne i łatwe do zinterpretowania przez czytelnika.

Przedstawiona do oceny rozprawa przekonuje, że pani mgr Adriana Marcinkowska-Ochtyra opanowała w szerokim zakresie teorię i praktykę metod teledetekcji hiperspektralnej od etapu przetwarzania danych, przez ich klasyfikację, po wykorzystanie w kartowaniu roślinności. Z kolei tekst pracy przygotowany w dojrzały i profesjonalny sposób dowodzi opanowania techniki pisania rozpraw naukowych.

**W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa mgr Adriany Marcinkowskiej-Ochtyry wnosi oryginalny i wartościowy wkład do poznania**

problematyki teledetekcji hiperspektralnej w zastosowaniach do pozyskiwania i przetwarzania danych dotyczących roślinności wysokogórskiej oraz jej kartowania, 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 pani mgr Adriany Marcinkowskiej-Ochtyry do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

W uznaniu walorów rozprawy doktorskiej pani mgr Adriany Marcinkowskiej-Ochtyry pragnę zarekomendować Wysokiej Radzie jej wyróżnienie stosowną nagrodą.

Ludwik J. Tanc