

Dr hab. Jarosław Chormański  
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
Katedra Inżynierii Wodnej  
Ul Nowoursynowska 159  
02-776 Warszawa

### Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Bogny Uździckiej pt.  
„Ocena zależności charakterystyk spektralnych od parametrów biofizycznych roślin  
uprawianych w różnych reżimach nawożenia”

Recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału melioracji i Inżynierii Środowiska, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, prof. dr hab. inż. Jolanty Komisarek.

#### 1. Wstęp

Praca doktorska mgr inż. Bogny Uździckiej została przygotowana w Katedrze Meteorologii Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu pod kierunkiem prof. dr hab. Janusza Olejnika oraz dr hab. Radosława Juszcza. Rozprawa liczy 156 stron tekstu oraz 3 załączniki, w skład których wchodzi 12 rysunków. W tekście pracy Autorka zamieściła 23 tabele i 58 rysunków. Spis wykorzystanej literatury liczy 294 pozycje i obejmuje zarówno prace zamieszczone w liczących się czasopismach naukowych (polskich i zagranicznych), wydawnictwa monograficzne, podręcznikowe i materiały konferencyjne. Około 30% cytowanych prac zostało opublikowanych po 2005 roku. Wykorzystana literatura jest zróżnicowana tematycznie i związana z treścią pracy.

#### 2. Opis pracy

Rozprawa jest obszernym studium poświęconym ocenie parametrów biofizycznych i biochemicznych roślin uprawianych na podstawie wskaźników spektralnych. Dzieli się na 7 rozdziałów, o zróżnicowanej objętości: rozdział 1 – wstęp, rozdział 2 – cel pracy i hipotezy badawcze, rozdział 3 – przegląd literatury, rozdział 4 – metodyka zastosowana w pracy oraz teren badań, rozdział 5 – wyniki, rozdział 6 – dyskusja, rozdział 7 – wnioski. Ostatni rozdział zawiera spis wykorzystanej literatury.

Celem poznawczym pracy doktorskiej było wykazanie, że spektralne wskaźniki roślinności są dobrym indykatorem wartości różnych parametrów biofizycznych roślin uprawianych, w tym przede wszystkim LAI, fAPAR oraz intensywności wymiany CO<sub>2</sub> pomiędzy tymi roślinami a atmosferą.

Autorka postawiła tezę główną, według której zastosowanie spektralnych wskaźników roślinności może być pomocne w ocenie stanu ekosystemu rolniczego o dużym zróżnicowaniu gatunkowym i zmiennych warunkach nawożenia.

Dla realizacji tak postawionego celu Autorka:

- scharakteryzowała wzajemne zależności pomiędzy wskaźnikami i parametrami biofizycznymi roślin badanymi w trzyletnim okresie pomiarowym;
- określiła zależności statystyczne pomiędzy poszczególnymi zmiennymi identyfikując ich związek dla zmienności dobowej i sezonowej

- na podstawie obliczonych współczynników determinacji i poziomów istotności podjęła próbę walidacji poszczególnych wskaźników jako metody estymacji parametrów biofizycznych i biochemicznych takich jak LAI, fAPAR, NEP i GEP.

Wstęp pracy jest w większości poświęcony uzasadnieniu podjęcia tematu badawczego: badaniu zależności spektralnych charakterystyk powierzchni roślin uprawnych od strumieni CO<sub>2</sub> w kontekście ich praktycznego wykorzystania do nieinwazyjnego szacunku wielkości strumieni na dużych heterogenicznych obszarach rolniczych z wykorzystaniem teledetekcji satelitarnej.

W kolejnej części podano przytaczany powyżej cel, 4 hipotezy badawcze i zakres pracy w postaci wykazu 5 zadań badawczych. Wydaje się, że lista hipotez badawczych jest pisana po uzyskaniu końcowych wyników. Szczególnie czwarta hipoteza o wyższości jednych wskaźników spektralnych nad innymi brzmi jak wniosek z przeprowadzonych prac porównawczych.

Obszerny przegląd literatury, liczący 38 stron, jest rozwinięciem podjętego we wstępie opisu problematyki badawczej w tym biofizycznych parametrów pokrywy roślinnej, spektralnych wskaźników roślinnych jako metody oceny ich stanu, metod pomiarowych dedykowanych parametrom biofizycznym, metod pomiaru wskaźników spektralnych oraz metod pomiaru strumieni CO<sub>2</sub>. W tym rozdziale Autorka podsumowuje wyniki wybranych badań relacji wskaźniki spektralne-parametry biofizyczne, opierając się na danych światowych, porusza zagadnienia związane z zakresem badań, które będzie prowadzić w ramach rozprawy doktorskiej.

Przegląd literatury został opracowany przejrzyście, na podstawie przeważnie dobrze dobranych źródeł a jego zakres merytoryczny jest w zdecydowanej części adekwatny do przedstawionego celu dysertacji. Wydaje się jednak, że nieco zbyt dużo miejsca zajmuje w nim opis wskaźników spektralnych w stosunku do charakterystyk biofizycznych (np., LAI). Z drugiej jednak strony wykorzystanie wskaźników spektralnych jest nowatorską częścią pracy i pozostaje w silnym związku z głównym przedmiotem badań co tłumaczy szczególną chęć Autorki do podania w pracy podstaw spektrometrii. Opis metod pomiaru LAI pozostawia dużo do życzenia. Opracowano go - z jednym wyjątkiem (Breda, 2003) – na podstawie pozycji literaturowych starszych niż 20 lat, podczas gdy w przypadku drugiego z parametrów biofizycznych – fAPAR, Autorka przeanalizowała już nowsze publikacje. Wiedza na temat wykorzystania np. laserowych technik lotniczych i naziemnych do estymacji LAI jest powszechnie ugruntowana, jednak w przeglądzie nie ma na ten temat w ogóle wzmianki. Czytelnik pracy ma wrażenie, że badania w tym zakresie zatrzymały się w XX wieku. Skoro istnieje silna relacja pomiędzy fAPAR i LAI, a Autorce udało się dotrzeć do prac na temat szacowania fPAR tą metodą, to można było dojść do wniosku, że skaning laserowy można wykorzystać w badaniach struktury pokrywy roślinnej do szacowania różnych jej parametrów.

Zauważam tutaj również liczne nieprecyzyjne sformułowania dotyczące teledetekcji satelitarnej i lotniczej jak np.:

- 1) sformułowanie o małej rozdzielczości obrazów satelitarnych w erze komercyjnie wykorzystywanych zobrazowań VW2 i VW3, które dostarczając obraz o wielkości komórki 0,3 m dają obecnie możliwości porównywalne z lotniczymi;
- 2) informacja o wysokości minimalnej zdjęć lotniczych jako 1000 m jest co najmniej nieaktualna w okresie gdy ponad 90% powierzchni kraju zostało pokrytych lotniczym skananiem laserowym w ramach projektu ISOK, w którym z pokładu samolotu

rejestrowano chmury punktów z pułapu 900 metrów, a dedykowane wysokości lotów dla metrowych rozdzielczości kamer hiperspektralnych AISA czy HySpex to 700m;

- 3) niedostrzeżenie problemu efektu absorpcji i rozpraszania atmosferycznego w obrazowaniach lotniczych;
- 4) pominięcie w opisie platform rejestrujących odbicie spektralne bezałogowych statków lotniczych;
- 5) łączenie w jednym pojęciu znaczeniowym spektrometrii pomiarowej i obrazowania spektralnego.

Na obronę Autorki miałbym to, że nie są to pomyłki mające wpływ na cel postawiony w dysertacji oraz fakt, że są to cytaty z literatury (choć często nieaktualnej).

Rozdział 4 wnosi opis terenu badań wraz z omówieniem praktyk rolniczych i zmianowania upraw na poletku doświadczalnym w Brodach. Obszernie zostały opisane zastosowane narzędzia, założenia i metody pomiarowe, w tym schemat obliczeniowy zastosowany w celu oszacowania wartości poszczególnych wskaźników spektralnych, biofizycznych i biochemicznych. Ta część pracy wydaje się opisana bardzo dobrze, na właściwym poziomie szczegółowości, bez nadmiernych opisów i uogólnień. Przyjęta w pracy metodyka była prawidłowa i pozwoliła na realizację założonego celu badań. Należy również z uznaniem podkreślić duży rozmach przeprowadzonych prac terenowych i imponujący zestaw zgromadzonych danych, według mojej wiedzy pierwszy tak kompletny zrealizowany w granicach Polski. Należy tutaj zauważyć słuszność wyboru metody komorowej a nie metody kowariancji wirów, lepiej dopasowanej do obszarów heterogenicznych, upraw rolniczych.

W najobszerniejszej części pracy (około 30%) obejmującej rozdział 5 przedstawiono wyniki badań. Ze względu na różnorodność i dużą liczbę przetwarzanych danych nie było to łatwe. Autorka dobrze poradziła sobie z tym zadaniem, chociaż czasem czytelnik może zgubić się w tak samo wyglądających licznych wykresach. Wyniki są zawarte w trzech podrozdziałach poświęconych:

- opisowi warunków meteorologicznych panujących w okresie prowadzenia badań,
- ocenie dobowej i sezonowej zmienności parametrów biofizycznych i biochemicznych pokrywy roślinnej oraz wskaźników spektralnych,
- wykryciu zależności statystycznych między parametrami biofizycznymi i biochemicznymi pokrywy roślinnej a wskaźnikami spektralnymi w ujęciu dobowym i sezonowym.

Zastosowana metoda prezentacji wyników jest przeważnie adekwatna dla realizacji założonego celu i przejrzysta dla czytelnika. Mam jedynie uwagę co do okna wyznaczonego na pomiary spektralne – Autorka przytacza w rozdz. 4 informację, że warunki korzystne dla pomiarów spektralnych są na 3h przed i po południu słonecznym. Południe słoneczne dla 16 stopnia długości geograficznej wschodniej różni się o ok 1 h od czasu letniego obowiązującego w Polsce. Ustalając przedział godzinny pomiarów spektralnych na 10-14 mieścimy się oczywiście w granicach korzystnych, jednak dyskusyjna jest jego asymetryczność w stosunku do południa słonecznego.

Nie mając zastrzeżeń do pozostałych części metodyki zastosowanej do oceny sezonowej zmienności badanych zjawisk (pomiar, walidacja wyników, szukanie silnych i istotnych statystycznie związków statystycznych) chciałbym z uznaniem odnieść się do logistyki całego przedsięwzięcia, szczególnie do części pomiarowej. Jestem przekonany, że nie jest możliwe wykonanie tak szeroko zakrojonych tematycznie badań jednoosobowo, bez silnego wsparcia opiekunów naukowych i zespołu, w którym Autorka realizowała zadania badawcze. Niewątpliwym sukcesem jakim jest uzyskanie zadowalających wyników w nowatorskich badaniach na skalę Polski nie byłby możliwy bez dobrej organizacji.

Nie mogę się jednak nie odnieść do pomysłu badania dobowej zmienności parametrów z wykorzystaniem NDVI (zakładam, że pomiary NDVI były prowadzone jednocześnie z pozostałymi, gdyż w pracy nie znalazłem zapisu o tym aby było inaczej). Jeśli pomiary spektralne mają sens gdy wykonuje się je w godzinach bliskich południa słonecznego, to można było się spodziewać, że rozszerzenie okna pomiarowego na okres całego dnia nie może skończyć się sukcesem. Szczególnie wybór NDVI, którego wartości są bardzo wrażliwe na zmianę kąta padania promieni słonecznych nie wydaje się pomysłem trafionym. Rozumiem, że dobową zmienność przepływów strumieni CO<sub>2</sub> skłoniła zapewne Autorkę do szukania towarzyszących im odpowiedzi spektralnych. I chociaż nie udało się uzyskać zadowalających korelacji, to nie potępiałbym samego zamysłu sprawdzenia. Spodziewałbym się raczej wyboru PRI, który z badanych w pracy wskaźników spektralnych cechuje się minimalną wrażliwością na zmiany kąta padania promieniowania.

W rozdziale 6 Autorka dokonuje całościowej interpretacji i dyskusji uzyskanych wyników, oceny ich wiarygodności i porównania materiału własnego z wynikami innych badaczy. Treści dyskusyjne zebrane w tej części pracy stanowią część podsumowującą. W rozdziale tym Autorka poddaje krytycznej ocenie uzyskane wyniki w kontekście zmiennego nawożenia, starając się poddać interpretacji uzyskane związki statystyczne, identyfikuje przyczyny i weryfikuje praktyczność zastosowania uzyskanych modeli określania parametrów biofizycznych i biochemicznych na podstawie wskaźników spektralnych. Bardzo dobrze wypada próba syntezy wyników opisanych w rozdziale 6. Celne są też szukanie przyczyn słabszych korelacji w odpowiedzi spektralnej tła glebowego co Autorka udowodniła silniejszymi związkami statystycznymi dla SAVI i OSAVI w porównaniu z pozostałymi wskaźnikami.

Należy żałować, że Autorka badając związki statystyczne ograniczyła się jedynie do prostych związków korelacyjnych i nie pokusiła się o dokładniejsze przeanalizowanie zjawiska wpływu geometrii źródła promieniowania-roślina na wartość spektralnych wskaźników roślinności, chociaż słusznie wskazuje to zjawisko jako jeden z powodów zmniejszenia korelacji dla zmienności dobowych przebiegu wskaźników. Zaniechanie to może jednak usprawiedliwiać i tak duża już objętość rozdziału i samej pracy, oraz słabszym związkiem z głównym celem badawczym pracy. Może jednak pozwoliłoby lepiej zinterpretować brak zależności statystycznych wskaźników spektralnych analizowanych w cyklu zmienności dobowej a czasami wytłumaczyć również słabsze związki w analizach sezonowych.

W rozdziale 7 przedstawiono wnioski. Wobec dużej ilości materiału analitycznego przedstawionego w rozdziale szóstym i ich wyczerpującej dyskusji i podsumowaniu wszystkich obliczeń i modeli statystycznych umieszczonych w rozdziale siódmym, wnioski są syntetyczną, finalną częścią dysertacji. Wnioski są sformułowane poprawnie i klarownie ujmują kluczowe wyniki pracy, uzyskane w każdym z analizowanych etapów badań.

### 3. Ocena poziomu naukowego pracy

Rozprawa podejmuje bardzo ważny problem z zakresu ochrony i kształtowania środowiska, którym jest szacowanie wielkości strumieni CO<sub>2</sub> na obszarach użytkowanych rolniczo.

Opracowanie modeli pozwalających na szacowanie strumieni CO<sub>2</sub> na podstawie relacji statystycznych pomiędzy cechami biofizycznymi i biochemicznymi powierzchni roślinnej i spektralnymi wskaźnikami roślinnymi rolniczych jest interesujące nie tylko ze względów poznawczych, ale także i praktycznych. Wiedza ta może stać się naukową podstawą do szacowania emisji ditlenku węgla pozwalając na uwzględnienie przestrzennej zmienności tego

zjawiska na podstawie danych teledetekcyjnych. Uzyskane zależności stanowią podstawę do opracowywania modeli dla przyszłych satelitów, które pogodzą potrzebę dużej rozdzielczości przestrzennej pozwalającej na dokładne katowanie zasięgu upraw z rozdzielczością hiper spektralną pozwalającą na precyzyjne identyfikowanie gatunków upraw. Dzięki połączeniu obserwacji zdalnych i modeli statystycznych takich jak zaproponowane w pracy, możliwe stają się nieinwazyjne i wykonywane dla dużych powierzchni terenu szacunki charakterystyk pokrywy roślinnej, a wyniki uzyskane dla roślin uprawianych w Brodach, posłużyć mogą dokładniejszemu (lepiej dopasowanemu do gatunkowej specyfiki) szacowaniu strumieni CO<sub>2</sub> na stosunkowo dużych powierzchniach heterogenicznych upraw rolniczych w Polsce. Recenzowana dysertacja jest ściśle związana z tą problematyką a uzyskane wyniki wzbogacają dorobek naukowy i wiedzę na ten temat.

Cel poznawczy, jaki postawiła sobie do osiągnięcia Autorka pracy, został przedstawiony dostatecznie jasno, a jego zrealizowanie – wyraźnie podkreślone we wnioskach z pracy.

Badania zostały dobrze zaplanowane i przeprowadzone. Trzyletnie pomiary wskaźników biofizycznych i spektralnych były prowadzone w zróżnicowanych gatunkowo i o różnych reżimach nawożenia, w wystarczającym zakresie dla opisu zjawiska. Bogaty materiał obserwacyjny został przeanalizowany statystycznie a wyniki omówione poprawnie na podstawie dobrze dobranej literatury. Prawidłowo sformułowane wnioski w pełni korespondują z celem i hipotezami przyjętymi dla realizacji pracy i wynikają wprost z rezultatów badań.

Dysertację oceniam bardzo dobrze i nie dostrzegam w niej istotnych uchybień merytorycznych lub formalnych. Uwagi krytyczne, które przedstawiłem w recenzji nie osłabiają mojego dobrego zdania o pracy. Większość z moich uwag ma jednak charakter dyskusyjny i wynika głównie z nowatorskości podjętej tematyki badawczej lub innego spojrzenia recenzenta na niektóre kwestie, szczególnie te związane z teledetekcją. Mam nadzieję, że uwagi które poczyniłem nie zniechęcą Autorki do dalszych prac badawczych a będą pomocne w publikowaniu uzyskanych wyników.

#### 4. Wniosek końcowy

Praca doktorska mgr inż. Bogny Uździckiej obejmuje ważną z punktu widzenia ochrony i kształtowania środowiska problematykę szacowania wielkości strumieni CO<sub>2</sub> na obszarach użytkowanych rolniczo a uzyskane wyniki stanowią oryginalny wkład Autorki w rozpoznanie związków między cechami biofizycznymi i biochemicznymi powierzchni roślinnej i spektralnymi wskaźnikami roślinnymi.

Doktorantka wykazała się umiejętnością kompleksowego rozwiązywania problemów badawczych, dużą dociekliwością naukową i wytrwałością w prowadzeniu długoterminowych badań przyrodniczych.

Recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawy z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, co świadczy, że jej Autorka sprostała wymaganiom stawianym kandydatom do stopnia naukowego doktora. Wniosuję o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Bogny Uździckiej pt. **„Ocena zależności charakterystyk spektralnych od parametrów biofizycznych roślin uprawianych w różnych reżimach nawożenia”** do publicznej obrony.

Warszawa, dnia 09.05.2015r.

Jarosław Chormański

