



UNIwersytet Warszawski  
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych  
Zakład Geoinformatyki, Kartografii i Teledetekcji  
ul. Krakowskie Przedmieście 30  
00-927 Warszawa  
Tel. +48 2255 220654, Fax +48 2255 21521  
e-mail: [bogdan@uw.edu.pl](mailto:bogdan@uw.edu.pl)  
<http://geoinformatics.uw.edu.pl/bogdan-zagajewski/>

Warszawa, 25 lutego 2015 r.

## Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Saida M.A. Nawara

pt.: **Digital soil mapping using spectroscopy and remote sensing: a case study from Egypt**  
przygotowanej w Instytucie Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ  
pod opieką dr hab. Jacka Kozaka, prof. UJ

### Informacje ogólne

Recenzowana praca doktorska składa się ze 114 stron tekstu podzielonego na następujące części:

- 14 stron wstępu zawierającego oświadczenia, podziękowania, polsko- i angielskojęzyczne streszczenia pracy, listę publikacji, załączniki potwierdzające ilościowy i jakościowy udział współautorów),
- 39 stron właściwego tekstu będącego wstępem do wyników (opublikowanych w artykułach) oraz teoretycznym opisem stanu badań z zakresu tematu pracy (*state of art*). Część ta zawiera: spis treści pod-, rozdziałów; listę akronimów; wprowadzenie do tematu; przegląd literatury; cele pracy; pytania badawcze; opis obszaru badań; kluczowe wyniki pracy; wnioski; spis literatury oraz rycin,
- 14 stron tekstu artykułu: *Estimation of soil salinity using three quantitative methods based on visible and near infrared reflectance spectroscopy: a case study from Egypt*, opublikowanego w *Arabian Journal of Geoscience* (20 punktów MNiSW, wyd. Springer),
- 22 stron tekstu artykułu: *Modeling and mapping of soil salinity with reflectance spectroscopy and Landsat data using two quantitative methods (PLSR and MARS)*, opublikowanego w *Remote Sensing* (35 punktów MNiSW, wyd. MDPI, pełny dostęp do tekstu),
- 25 stron tekstu artykułu: *Digital mapping of soil properties using multivariate statistical analysis and ASTER data in an arid region*, opublikowanego w *Remote Sensing* (35 punktów MNiSW, wyd. MDPI, pełny dostęp do tekstu).

Autor rozprawy przygotował 7 rycin do wstępu pracy doktorskiej i opublikował 21 rycin w artykułach. Często są to bardzo rozbudowane ryciny, składające się z wielu wykresów (np. charakterystyk spektralnych, korelacji, wykresów, przetworzonych zdjęć naziemnych oraz satelitarnych). Tekst pracy i publikacji zawiera 9 tabel, w których Doktorant przedstawia najważniejsze parametry statystyczne prezentowanych danych. Autor cytuje we wstępie 142 pozycje literatury, natomiast w kolejnych artykułach powołuje się odpowiednio na 66, 76, 100 pozycji literatury (znaczna część artykułów powtarza się w poszczególnych publikacjach i we wstępie pracy doktorskiej).

Treść pracy doktorskiej zawiera:

- 6 rozdziałów: 1) *Introduction*; 2) *Digital Soil Mapping: state-of-the-art (Proximal sensing of soils; Remote sensing of soils; Summary)*; 3) *Aims, objectives and research questions*; 4) *Study area*; 5) *Results (Key results for paper 1; Key results for paper 2; Key results for paper 3)*; 6) *Conclusions (Outlook); References*.

We *Wprowadzeniu* Doktorant zwraca uwagę, że prawidłowe zarządzanie glebą ma podstawowe znaczenie do trwałego rozwoju rolnictwa i produkcji żywności, szczególnie w aspekcie długofalowego rozwoju rolnictwa. Jest to istotne zadanie na obszarach suchych, gdzie warstwa humusu jest bardzo cienka, a procesy pustynnienia są intensywne. Jednakże, by zarządzanie przestrzenią rolniczą było skuteczne, potrzebne jest poznanie procesów zachodzących w poszczególnych strefach klimatycznych oraz wypracowanie skutecznych metod kartowania i monitoringu gleb. Tradycyjne metody (bazujące na kartowaniu terenu) mogą nie dostarczać szczegółowych i aktualnych informacji dla dużych obszarów, dlatego warto skoncentrować się na cyfrowym kartowaniu gleb (*Digital Soil Mapping*). Wymaga ono sprawnego systemu informatycznego wykorzystującego czasowe i przestrzenne zmienne właściwości gleb, które uwydatniają się we wskaźnikach środowiskowych (Lagacherie, McBratney, 2007). Do najważniejszych należą: gleba (S), klimat (C), biosfera (O - organisms), rzeźba (R), skała macierzysta (P - parent material) i czas (T). Elementy te są składowymi modelu SCORPAN (McBratney, 2003).

Cyfrowe kartowanie gleby powinno wykorzystywać dane terenowe i teledetekcyjne oraz bazować na współczesnych metodach cyfrowych (GIS, geostatystyka).

Teledetekcja oferuje wiele metod do analizy stanu gleb, np. cechy spektralne, struktura i tekstura obrazu. Absorpcja widma elektromagnetycznego przez poszczególne minerały, substancje organiczne, tlenki metali, czy wodę pozwala określić skład dominujących substancji i prowadzić długofalowy monitoring środowiska.

Szczególne miejsce odgrywają cechy spektralne gleb, które mogą być zapisywane w postaci bibliotek spektralnych. Wzorce spektralne pozwalają identyfikować interesujące obiekty, a analiza lokalnych maksimów i minimów pozwala identyfikować dominujące procesy oraz zawartość badanych substancji w sposób ilościowy. Wpływ na przebieg krzywej odbicia spektralnego jest złożony (addycja wielu sygnałów), dlatego niezbędna jest analiza wieloczynnikowa. Badania wykazały, że zasolenie gleby jest możliwe do rejestracji w zakresie 494, 505, 673, 1415, 1748, 1915, 2205, 2385 nm (Weng, 2008, Nawar i in., 2014).

Obecnie metodyka teledetekcyjnego badania gleb nie jest wystarczająco rozwinięta, by mieć automatyczne algorytmy kartowania gleb (Ben-Dor i in., 2008).

Celem pracy była analiza przydatności teledetekcyjnych i terenowych metod badawczych do oceny zasolenia, zawartości substancji organicznych i gliny w glebie. W przypadku uzyskania pozytywnych wyników Doktorant chciał opracować metodę monitoringu uwzględniającego różne skale czasowe i przestrzenne. Uzyskanie oczekiwanych wyników wymagało budowy biblioteki spektralnej oraz bazy danych przestrzennych do uchwycenia zależności między zmiennymi środowiskowymi, a wybranymi właściwościami gleby. Kolejnym krokiem była budowa modelu prognostycznego bazującego na cechach spektralnych oraz właściwościach gleby. Końcowym krokiem analizy była ocena jakości uzyskiwanych map glebowych.

Obszar badawczy zlokalizowany był w strefie suchej (roczna suma opadów 70 mm) na Półwyspie Synaj (okolice El-Tina, NW Egipt) o powierzchni około 380 km<sup>2</sup>. Obszar ten charakteryzuje się dużą zmiennością zasolenia, tekstury gleby oraz zawartości substancji organicznych. Autor posiadał też dostęp do bogatej bazy danych referencyjnych, ponadto dla Egiptu jest to obszar cenny z punktu widzenia produkcji rolnej.

Metodyka pracy wymagała pozyskania informacji terenowych (próbki gleby oraz charakterystyki spektralne), które pozwoliły wykonać modelowanie właściwości glebowych pod kątem oceny zasolenia gleb i uzyskiwanych odpowiedzi w postaci ilości odbitego promieniowania elektromagnetycznego w zakresie 350-2500 nm. W pierwszym kroku należało przeprowadzić badania laboratoryjne, w przypadku uzyskania pozytywnych wyników, należało

opracować metodykę badań terenowych. Po pozytywnej weryfikacji tego założenia Doktorant sprawdził, czy zaobserwowane prawidłowości daje się zmierzyć na powszechnie dostępnych danych satelitarnych (Landsat i ASTER). Przeprowadzone badania koncentrowały się na spektralnej ocenie zawartości soli, substancji organicznych oraz gliny w glebie. Badania bazowały na jakościowej ocenie modeli prognostycznych i empirycznych oraz na wielkości uzyskiwanych błędów podczas modelowania właściwości gleby.

- Publikację: Said Nawar, Henning Buddenbaum, Joachim Hill, 2014. Estimation of soil salinity using three quantitative methods based on visible and near infrared reflectance spectroscopy: a case study from Egypt, *Arabian Journal of Geoscience*, DOI: 10.1007/s12517-014-1580-y, (Impact Factor: 1,15), 01/2014.

Zgodnie z oświadczeniami udział pozostałych autorów w publikacji wynosi: 20% - koncepcja, 10% - układ badań, 20% - analiza danych, 5% - prezentacja danych, 15% - interpretacja i dyskusja wyników, 15% - przygotowanie manuskryptu. Oznacza to, że Doktorant ma znaczący udział w publikacji.

Artykuł składa się z następujących części *Abstract, Keyword, Introduction, Materials and methods* (study area, soil sampling and analysis, spectral measurements, pre-processing transformation, data analysis), *Results* (salinity parameters, spectral characteristics of salt-affected soils, relationship between soil salinity and the spectral indices, performance of PLSR) *Discussion* (Performance of MARS, Testing of the soil salinity estimation models), *Conclusions, Acknowledgements, References*.

W publikacji Autorzy koncentrują się na ważnym problemie postępującego zasolenia gleb i detekcji degradacji gleb. Jest to bardzo niekorzystne zjawisko powodujące spadek jakości pól uprawnych i produkcji rolnej. Jednym z możliwych sposobów jakościowej i ilościowej oceny tego zjawiska jest hiperspektralna teledetekcja naziemna, która dostarcza szczegółowe parametry w zakresie 350-2500 nm. Badania zostały przeprowadzone w NW części Półwyspu Synaj w Egipcie, gdzie pobrano próbki na przewodnictwo elektryczne oraz pomierzono charakterystyki spektralne spektrometrem ASD FieldSpec FR w pełnym zakresie spektrum (350-2500 nm). Obróbka danych spektrometrycznych polegała na analizie oryginalnych charakterystyk, pierwszej pochodnej (według metody Savitzky-Golay) oraz metody Continuum Removal (CR). Na podstawie charakterystyk spektralnych obliczono teledetekcyjne wskaźniki, które zostały skorelowane z przewodnictwem elektrycznym. Poprzez modele regresji liniowej i nieliniowej wyznaczono równania oraz współczynnik determinacji. Badania statystyczne bazowały na wystarczająco licznych próbkach (94). Przewodność elektryczna została zmierzona w zawiesinie wody i gleby w stosunku 2,5:1. Uzyskane współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy zmiennymi parametrami gleby wyniosły od 0,20 do 0,95. Natomiast współczynnik determinacji dla zależności teledetekcyjnych wskaźników i zasolenia gleby zawierał się w przedziale 0,53-0,81. Uzyskane wyniki wskazują wyraźnie, że teledetekcja hiperspektralna może być stosowana do badania zasolenia gleb.

- Publikację: Said Nawar, Henning Buddenbaum, Joachim Hill, Jacek Kozak, 2014. Modeling and mapping of soil salinity with reflectance spectroscopy and Landsat data using two quantitative methods (PLSR and MARS). *Remote Sensing*, 2014, 6, 10813-10834: DOI: 10.3390/rs61110813, (Impact Factor: 2,623).

Zgodnie z oświadczeniami udział pozostałych autorów, poza Doktorantem, wynosi: 20% - koncepcja, 15% - układ badań, 15% - analiza danych, 5% - prezentacja danych, 20% - interpretacja i dyskusja wyników, 20% - przygotowanie manuskryptu.

W publikacji autorzy koncentrują się wykorzystaniu danych obrazowych Landsat TM i ETM+ oraz wyników uzyskanych z badań terenowych (zaprezentowanych w poprzednim artykule) do oceny stopnia przydatności danych satelitarnych do analizy zasolenia gleby. W tym celu przepróbowano spektrometryczne dane naziemne ASD FieldSpec do charakterystyk spektralnych skanerów TM i ETM+.

Zastosowane metody regresji (PLSR, MARS) wykazały dużą zależność pomiędzy charakterystykami spektralnymi pomierzonymi z obrazów Landsat (22.05.2006 i 24.08.2012) oraz zasoleniem gleby ( $R^2 \sim 0,70-0,73$ ). Do klasyfikacji zastosowano metodę Spectral Angle Mapper, która pozwoliła sklasyfikować zasolenie gleb w sześciu kategoriach: brak gleb, przepuszczalność elektryczna poniżej 4, 4-8, 8-16, 16-32 oraz powyżej 32  $dSm^{-1}$ . Podczas weryfikacji uzyskano bardzo dobre wyniki ( $R^2 \sim 0,70$ ), co jest lepszym wynikiem niż zaobserwowali to inni badacze (Shamsi i in., 2014). Modelowanie zostało przeprowadzone na dwóch okresach (2006 i 2012), dwoma metodami (PLSR, MARS).

- Publikację: Said Nawar, Henning Buddenbaum, Joachim Hill, 2015. *Digital mapping of soil properties using multivariate statistical analysis and ASTER data in an arid region*. Remote Sensing, 2015, 7, 1181-1205; DOI: 10.3390/rs70201181, (Impact Factor: 2,623).

Zgodnie z oświadczeniami udział pozostałych autorów, poza Doktorantem wynosi: 10% - koncepcja, 10% - układ badań, 15% - analiza danych, 5% - prezentacja danych, 15% - interpretacja i dyskusja wyników, 15% - przygotowanie manuskryptu.

Niniejsza publikacja jest koncepcją poprzedniej, wykorzystano w niej dane satelitarne ASTER, które oferują prawie dwa razy większą rozdzielczość spektralną (14) od Landsat (7). Zwiększona rozdzielczość spektralna zaowocowała większą dokładnością analizy (dla przewodności uzyskano  $R^2 \sim 0,80-0,85$ , dla gliny:  $R^2 \sim 0,90-0,94$  oraz dla substancji organicznej  $R^2 \sim 0,73-0,79$ , bazując na 32 próbkach weryfikacyjnych)

Analizy weryfikacyjne wykazały, że model MARS oferował większą zgodność danych niż PLSR, co w przypadku danych ASTER wydaje się optymalnym rozwiązaniem w przypadku analizy zasolenia.

## Wnioski Doktoranta

Przeprowadzone analizy wykazały, że wykorzystanie zintegrowanych metod terenowych oraz danych satelitarnych jest optymalnym rozwiązaniem do jakościowego kartowania zasolenia gleby.

Najlepsze wyniki wykazały wskaźniki bazujące na średniej podczerwieni SWIR (1483, 1918). Dotyczy to zarówno liniowych (PLSR), jak i nieliniowych (MARS) metod analizy, choć kombinacja MARS i obrazy ASTER wydają się optymalnym rozwiązaniem do cyfrowego kartowania gleb (DSM).

## Ocena pracy doktorskiej

Autor podjął się ambitnego zadania jakim jest modelowanie właściwości biochemicznych i spektralnych gleby na podstawie wysokorozdzielczych naziemnych danych teledetekcyjnych (terenowe pomiary hiperspektralne spektrometrem ASD FieldSpec FR) oraz referencyjnych pomiarów glebowych. Modelowanie to zostało przeprowadzone w modelach liniowych i nieliniowych (odpowiednio PLSR oraz MARS). Modele te należą do coraz częściej wykorzystywanych w pracach badawczych.

Należy zwrócić uwagę, że Doktorant miał stosunkowo ułatwione zadanie z racji suchej strefy klimatycznej (niewielka ilość chmur, długi okres ekspozycji na słońce), ale bliskość Morza Śródziemnego oraz Czerwonego wpływała na skład atmosfery. Autor prawidłowo przetworzył dane naziemne i satelitarne, wykorzystując właściwe modele korekcji danych.

Badania zostały przeprowadzone na dużej liczbie poligonów badawczych (94) różniących się stopniem zasolenia, zawartości humusu oraz wilgotności. W moim odczuciu lepiej byłoby, gdyby próba danych weryfikacyjnych była jeszcze większa.

Na podstawie badań prowadzonych z poziomu naziemnego i satelitarnego potwierdzona została przydatność obu modeli regresji. Wszystkie naziemne dane hiperspektralne korelowały się bardzo dobrze z wartościami biochemicznymi gleb oraz danymi satelitarnymi.

W moim przekonaniu Autor uzyskał bardzo interesujące i cenne wyniki. Stanowią one podwaliny do automatyzacji procesu pozyskiwania danych glebowych z obrazów satelitarnych. Wyniki te powinny być jeszcze lepsze po umieszczeniu na orbicie satelitarnej hiperspektralnego sensora EnMAP.

Praca napisana jest poprawnym językiem, czyta się ją w sposób łatwy i zrozumiały. Część danych wprowadzających we wszystkich artykułach pokrywa się ze sobą, ale rozumiem, że czytelnik każdego artykułu nie ma dostępu do wszystkich jednocześnie. Niewielka liczba błędów językowych (np. literówki) nie wpływa na jakość pracy.

Praca wnosi wiele nowych elementów poznawczych. Dotyczą one szczególnie gleboznawstwa, ale i także modelowania danych hiperspektralnych. Uzyskane informacje są niezwykle ważne do monitorowania rozległych obszarów narażonych na pustynnienie. Uzyskane wyniki otwierają duże możliwości praktycznego zastosowania tego typu modelowania nie tylko w pracach naukowych, ale przede wszystkim w rolnictwie, ekologii roślin i zwierząt (analiza bazy pokarmowej).

Osobiście bardzo pozytywnie oceniam recenzowaną pracę, gdyż jest to pionierska praca w tej dziedzinie w Polsce (obok prac zespołu p. prof. J. Cierniewskiego, wynika to z innej strefy klimatycznej, gdyż w naszych warunkach warstwa roślin znacząco utrudnia modelowanie gleb). Autor zebrał bardzo bogaty materiał dokumentacyjny, został on rzetelnie przeanalizowany, zastosowane zostały właściwe procedury i Autor zaproponował własne oryginalne rozwiązania, które pozwoliły osiągnąć zamierzony cel. Powinny one być rozwijane w połączeniu z klasyfikacją obrazów hiperspektralnych, co będzie stanowić aplikacyjny wkład teledetekcji w modelowanie środowiska przyrodniczego.

Chciałbym zwrócić uwagę na kilka problemów, które powinny być omówione podczas publicznej obrony:

- Autor bazuje na danych wielospektralnych, które z racji na szerokość połówkową filtrów nie mogą dać optymalnych wyników (to nie jest zarzut do Autora, ale obiektywna przeszkoda do bardziej pogłębionych analiz, problem ten zostanie wyeliminowany w przyszłości).
- Nie rozumiem, dlaczego Autor bardzo często podaje zakres analizy spektralnej VIS-NIR, a operuje pełnym zakresem widma elektromagnetycznego 350-2500 nm, czyli włącza SWIR. Mam wrażenie, że Doktorant myśli, że zakres NIR kończy się na 2500 nm.
- Na wykresach charakterystyk spektralnych brakuje miar istotności statystycznej, tj. Doktorant powinien wykazać, które charakterystyki spektralne (np. Fig. 2, str. 9, Fig. 3., str. 12) wykazują różnice istotne statystycznie? Zaznaczyć w których zakresach widma elektromagnetycznego różnice między krzywymi są istotne statystycznie. Zdecydowanie powinno to być zrobione dla długości fal wybranych jako przydatne do oceny zasolenia.
- Dlaczego obliczono wskaźnik Pearsona, czy rozkład danych był normalny?
- Klasyfikacja SAM na danych wielospektralnych budzi duże wątpliwości, ponieważ liczba kanałów jest mała, stąd wygenerowany wektor składa się z niewielkiej liczby punktów, poza tym szerokość połówkowa filtrów TM, ETM+ jest bardzo duża (uważam, że wybór metody SAM nie był najlepszym rozwiązaniem).
- Nie jest jasno wytłumaczona metoda przetwarzania danych ASTER, Autor wspomina o sieciach neuronowych?
- Moje wątpliwości budzi obecność roślinności na badanym obszarze. Jeśli jest ona w dobrym stanie kondycyjnym, zarejestrowane spektrum (piksela-miksela) będzie zmienione w NIR

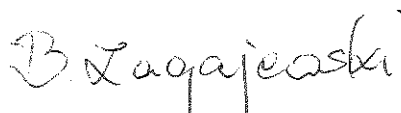
(podniesione), natomiast w SWIR obniżone. W przypadku roślinności suchej odbicie będzie zawyżone. Uważam, że Autor powinien utworzyć maskę roślinności bazując, np. na transformacji Tasseled Cap i wykorzystać kanały greeness, brightness jako maski obrazów Landsat i ASTER.

- Brak dokładnego opisu metod klasyfikacji danych obrazowych ASTER.
- Zbyt dobre wyniki dla danych ASTER. Dlaczego po uzyskaniu tak wysokich wyników Autor nie zweryfikował swoich analiz na innym zestawie obrazu?
- Co z różną rozdzielczością przestrzenną ASTERA w poszczególnych kanałach?
- Jakie dane referencyjne były wykorzystane dla roku 2006? Czy Autor posiadał naziemne pomiary?
- Czy przedziały przewodnictwa są dobrze dobrane, jeśli RMSE wynosi 5,37 (PLSR, 2006)?

Biorąc pod uwagę poszczególne elementy przedstawionej do oceny pracy doktorskiej mgr inż. Saida M.A. Nawara, pt.: *Digital soil mapping using spectroscopy and remote sensing: a case study from Egypt* uważam, że jest to bardzo cenna metodycznie praca służąca półautomatycznemu kartowaniu gleb na danych hiperspektralnych (obecnie lotniczych, ale wkrótce na danych EnMAP). Ponadto w zaprezentowanej rozprawie spełnione zostały formalne wymagania stawiane pracom doktorskim, czyli: a) rozwiązanie oryginalnego problemu naukowego, który został prawidłowo zaprezentowany na szerszym tle wiedzy teoretycznej; b) Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej; c) zastosował w praktyce zaawansowane narzędzia, które doprowadziły go do pozytywnej weryfikacji postawionych celów. Uważam, że praca jest wyróżniająca i powinna być podjęta procedura jej wyróżnienia. Bardzo podoba mi się to, że artykuły zostały opublikowane w prestiżowych czasopismach i są one powszechnie dostępne.

W myśl odpowiednich dokumentów o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw Nr 65, poz. 595 z dn. 14 marca 2003 z późniejszymi zmianami) wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Saida M.A. Nawara do kolejnego etapu przewodu doktorskiego i publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Z poważaniem

  
dr hab. Bogdan Zagajewski