

Warszawa 20.11.2024 r.

Dr hab. Dariusz Gozdowski, prof. SGGW
Instytut Rolnictwa
Katedra Biometrii
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Ocena

rozprawy doktorskiej Pana mgr Mateusza Szymańczyka pt. „*Wykorzystanie systemów detekcji spektralnej do oceny kondycji zbóż ozimych w warunkach zmiennej agrotechniki i zachwaszczenia*” wykonanej w Instytucie Ochrony Roślin - PIB pod kierunkiem dr hab. Romana Kierzka prof. IOR-PIB i promotora pomocniczego dr hab. Henryka Ratajkiewicza.

Recenzję wykonano przyjmując zlecenie zgodnie z Uchwałą Rady Naukowej Instytutu Ochrony Roślin - PIB nr 119/XI podjętą w dniu 27 czerwca 2023 roku.

Ocena problematyki rozprawy

Tematyka rozprawy dotyczy dwóch aspektów, tj. (1) zbadania wpływu różnych gęstości wysiewu na wzrost, plonowanie i parametry jakościowe ziarna trzech gatunków zbóż ozimych: pszenicy ozimej, pszenżyta ozimego oraz żyta ozimego, jak również (2) identyfikacji najbardziej przydatnych wskaźników spektralnych do oceny parametrów agronomicznych i jakościowych zbóż ozimych przy wykorzystaniu danych teledetekcyjnych wraz z klasycznymi pomiarami agronomicznymi. Podjęta tematyka jest szczególnie ważna ze względu na to, iż intensyfikacja produkcji rolniczej oraz nowe technologie uprawy wpływają na dynamikę wzrostu roślin uprawnych i chwastów, co skłania do poszukiwania i oceny nowych rozwiązań służących do monitorowania i wspierania zarządzania uprawami. Jednym z elementów wielu nowych rozwiązań stosowanych w monitorowaniu stanu upraw i optymalizacji agrotechniki stają się dane teledetekcyjne pozyskiwane z różnych pułapów, w tym z wykorzystaniem dronów. Tematyka pracy doktorskiej zajmuje się tym zagadnieniem, co można uznać za wysoce nowatorskie, gdyż podobnych badań do tej pory w warunkach Polski było stosunkowo niewiele. Istnieje zatem potrzeba pogłębiania wiedzy w tym zakresie, gdyż ma to duże znaczenie poznawcze, jak również może mieć to duże znaczenie praktyczne w optymalizacji technologii uprawy roślin, w szczególności zbóż, których udział w strukturze zasiewów w Polsce jest bardzo duży.

Ocena formalna rozprawy

Oceniana rozprawa doktorska zgodnie z wymogami o stopniach i tytule naukowym ma postać monotematycznej dysertacji. Składa się z 182 stron tekstu zawierającego wiele rycin i tabel, co znacząco ułatwia zrozumienie przedstawionych problemów. Treść rozprawy została podzielona na 7 głównych rozdziałów, z których trzy najbardziej obszerne, tj. Przegląd literatury i Materiały i metody badań oraz Wyniki mają wydzielone wiele podrozdziałów. Układ jest typowy dla prac badawczych, opierających się o przeprowadzone doświadczenia polowe, analizy danych z tych doświadczeń oraz wnioskowanie w oparciu o uzyskane wyniki.

Pracę rozpoczyna „Wstęp”, który obejmuje około jednej strony. Wstęp zawiera wprowadzenie do tematyki pracy, m.in. przedstawienie znaczenia zbóż w Polsce, ogólny opis stosowania systemów detekcji spektralnej w rolnictwie, jak również ich znaczenie w kontekście zrównoważonego rozwoju rolnictwa.

Drugim rozdziałem pracy jest „Hipoteza i cele pracy” w którym w zwięzły sposób przedstawiono hipotezę badawczą dotyczącą możliwości efektywnego monitorowania zależności między parametrami plonowania, cechami jakości ziarna z wynikami pomiarów naziemnych i wskaźnikami spektralnymi uzyskanymi za pomocą kamery multispektralnej umieszczonej na bezzałogowym statku powietrznym. Ponadto w tym rozdziale są zawarte są dwa główne cele pracy, tj. (1) zbadanie wpływu różnych gęstości wysiewu na wzrost, plonowanie i parametry jakościowe ziarna trzech gatunków zbóż ozimych oraz (2) identyfikacja najbardziej przydatnych wskaźników spektralnych do oceny parametrów agronomicznych i jakościowych zbóż.

Trzecim rozdziałem jest „Przegląd literatury”, w którym wydzielono 4 podrozdziały: 3.1 Znaczenie upraw zbóż ozimych w Polsce i na świecie; 3.2 Zachwaszczenie zbóż ozimych; 3.3 Teledetekcja w rolnictwie oraz 3.4 Potrzeby w zakresie badań i zastosowania teledetekcji w rolnictwie. Najbardziej obszernym podrozdziałem jest 3.3, gdzie przedstawiono na około 20 stronach historię wykorzystania metod teledetekcyjnych w rolnictwie, właściwości spektralne roślin, zakresy spektralne i ich znaczenie w badaniach rolniczych, możliwe zastosowania teledetekcji, wskaźniki spektralne i ich powiązanie z różnymi stresami roślin, możliwości wykorzystania teledetekcji do oceny kondycji zbóż ozimych. W rozdziale nie tylko przedstawiono zastosowania metod teledetekcyjnych z pułapu dronowego, ale również z innych poziomów, w tym sensorów naziemnych i satelitarnych. Ponadto w jednym z podrozdziałów (3.3.7) przedstawiono wykorzystanie Big Data i Machine Learning'u w

rolnictwie, co jest ściśle związane z danymi teledetekcyjnymi. Ostatni podrozdział w przeglądzie literatury (3.4) jest poświęcony ocenie potrzeb w zakresie badań i zastosowania teledetekcji w rolnictwie. W tym rozdziale przedstawiono obszary tematyczne, w których istnieje potrzeba pogłębiania wiedzy, prowadzenia badań i zastosowania teledetekcji w rolnictwie.

Kolejnym rozdziałem jest „Materiały i metody badań”. W rozdziale tym opisane zostały bardzo szczegółowo: układ doświadczalny i agrotechnika, systemy detekcji spektralnej, dane pogodowe oraz metody pomiarów biometrycznych roślin, analizy ilościowe i jakościowe plonu, wskaźniki konkurencyjności, spektralne wskaźniki roślinne oraz metody analizy statystycznej.

Najbardziej obszernym rozdziałem pracy są „Wyniki”, które liczą aż 65 stron opisu. W ramach tego rozdziału wydzielone zostały dwa główne podrozdziały, tj. „Analiza wyników badań naziemnych w kontekście oceny kondycji zbóż ozimych w warunkach zmiennej agrotechniki i zachwaszczenia” oraz „Ocena parametrów agronomicznych na podstawie danych teledetekcyjnych pozyskanych za pomocą bezzałogowych jednostek latających”. W pierwszym z nich opisany został wpływ badanych czynników, tj. wpływ chwastu modelowego na plon i cechy z nim związane oraz wpływ gęstości siewu, na plonowanie oraz cechy roślin powiązane z plonem. W drugim z podrozdziałów oceniono powiązanie wskaźników spektralnych z różnymi cechami roślin i ładu.

Kolejnym rozdziałem pracy jest „Dyskusja”, w której porównano uzyskane wyniki badań własnych z podobnymi badaniami przeprowadzonymi przez innych autorów.

Ostatnim rozdziałem pracy są „Wnioski”, w których zawarto w 15 punktach najważniejsze wyniki wraz z określeniem ich znaczenia w poszerzeniu wiedzy i wskazaniu możliwości ich zastosowania w praktyce.

Dodatkowymi elementami pracy doktorskiej są: bibliografia składająca się z 267 pozycji literatury, spis tabel (42 tabele), ilustracji (4 zdjęcia) i wykresów (9 wykresów) oraz streszczenie pracy w języku polskim i angielskim.

Cała praca została przygotowana starannie, co ułatwia jej odbiór. Doktorant nie uniknął drobnych błędów związanych z formatowaniem, np. na stronach 14, 16, 19, 20 i dalszych, cytowanie dwóch lub więcej autorów jest w oddzielnych nawiasach a powinno być w jednym: „(Drzewiecki, 1996); (Kozioł, 1995)”, „(Feret, 2008), (Zarco-Tejada, 2013)” oraz „(Lamb, 2002), (Schlemmer, 2005), (Atzberger, 2013)”. Nie jest to błąd, ale jednak

powszechnie przyjęty sposób cytowania jest nieco inny. Na stronie 37 jest podana ilość próchnicy („od 0,6 do 1.4”), ale nie podano w jakich to jest jednostkach. Podpis zdjęcia 1 jest nieprecyzyjny „Obszar doświadczalny z poziomu BSP Phantom 4 Pro+ w świetle widzialnym RGB z poziomu AGL”, gramatycznie niewłaściwy i nie wyjaśniony jest skrót „AGL” (domyślam się, że oznacza „above ground level” jednak skrót ten nie jest na tyle powszechnie używany, żeby nie wymagał wyjaśnienia). W tytule tabeli 18 jest mowa o 3 modelach dronów (Fenix FlyTech, Phantom 4 Pro i Yuneec) a są przedstawione dane tylko dla dwóch z nich. W większości tabel separatorem dziesiętnym liczb jest kropka, natomiast w Polsce obowiązuje jako separator dziesiętny przecinek. Wskazane byłoby ujednolicenie zapisu nazw odmian, gdyż zwykle są zapisywane bez apostrofów a czasami pojawiają się apostrofy (strona 100: 'Tur'). Tytuły rycin zwyczajowo podaje się pod nimi, natomiast w pracy są nad rycinami. W przypadku wykresu 9 etykiety punktów nachodzą na siebie, co powoduje, że znaczna ich część jest nieczytelna. Przy formatowaniu spisu literatury nie ma pełnego ujednolicenia formatowania. Czasami po nazwiskach pojawiają się przecinki a czasami nie, po tytułach publikacji czasami pojawiają się dwie kropki zamiast jednej (np. Azzari G., & Lobell, D. B. 2017). W publikacjach autorów Gitelsona i Merzlyaka, których jest kilka, zamiast nazwisk autorów pojawia się kreska „—”, co jest dość dziwnym sposobem cytowania. W przypadku niektórych publikacji, np. Zimdahl R. L. 2007, brak pełnych danych bibliograficznych.

Mimo pewnych drobnych niedociągnięć praca jest dobrze przygotowana pod względem formalnym. Liczba różnego typu drobnych błędów jest niewielka i nie wpływa na jakość merytoryczną pracy.

Ocena merytoryczna rozprawy

Praca doktorska opiera się na doświadczeniach polowych przeprowadzonych w latach 2016–2019 w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym IOR-PIB w Winnej Górze. Badania obejmowały różne gęstości wysiewu trzech gatunków zbóż ozimych (pszenicy, pszenżyta i żyta) oraz jeden poziom zachwaszczenia przy użyciu chwastu modelowego – *Lolium multiflorum*. Dokonano pomiarów parametrów struktury plonu, takich jak liczba ziaren w kłosie, masa ziarniaka i kłosa, a także określono obsadę roślin, biomasę, wskaźnik powierzchni liści (LAI) oraz zawartość chlorofilu (SPAD). Dane teledetekcyjne zebrano za pomocą kamer spektralnych Tetracam ADC Snap i Parrot Sequoia+, zamontowanych na dronach. Przeprowadzone badania potwierdziły znaczący wpływ gęstości wysiewu oraz

zachwaszczenia na wzrost, rozwój, a także parametry ilościowe i jakościowe plonu zbóż ozimych. W przypadku pszenicy zaobserwowano, że zwiększenie gęstości wysiewu powoduje wzrost obsady roślin na metr bieżący, ale jednocześnie skutkuje zmniejszeniem liczby ziaren w kłosie, masy pojedynczego kłosa oraz masy ziarniaka, szczególnie w latach o niższych opadach. Podobne zjawiska zaobserwowano dla pszenżyta ozimego, choć ten gatunek wykazywał większą odporność na wysoką obsadę roślin, szczególnie w latach z korzystnymi warunkami wilgotnościowymi. Z kolei żyto ozime charakteryzowało się stabilnymi parametrami plonotwórczymi niezależnie od gęstości wysiewu, co wskazuje na jego mniejszą wrażliwość na zmiany obsady. Obecność *L. multiflorum* znacząco wpływała na plon zbóż, szczególnie przy niższych gęstościach wysiewu. Wyższa gęstość wysiewu częściowo łagodziła negatywny wpływ zachwaszczenia, zwiększając konkurencyjność roślin uprawnych. W latach o korzystnych opadach gęstość wysiewu nie wpływała istotnie na liczbę ziaren w kłosie i masę ziarniaka, natomiast w latach suchych niższa gęstość poprawiała jakość plonu, zwłaszcza u pszenicy. Pszenżyto było bardziej tolerancyjne na zmiany obsady. Monitorowanie stanu upraw za pomocą teledetekcji wykazało wysoką przydatność wskaźników wegetacyjnych (NDVI, GNDVI, EVI, SR) do oceny biomasy, zachwaszczenia i konkurencyjności roślin. Korelacje tych wskaźników z naziemnymi pomiarami potwierdziły ich skuteczność w wykrywaniu zmian w biomacie roślin uprawnych i chwastów. Zarówno plan badań, przeprowadzone doświadczenia, jak również metody analizy danych i wnioskowanie na podstawie uzyskanych wyników są w pełni poprawne. Połączenie technologii detekcji spektralnej z tradycyjnymi metodami pozwala na bardziej efektywne zarządzanie uprawami zbóż ozimych. Przeprowadzona badania można uznać za nowatorskie, gdyż łączy możliwości klasycznych doświadczeń z nowoczesnymi metodami teledetekcyjnymi. Dużą zaletą pracy jest wykorzystanie zaawansowanych metod analiz, w tym analiz statystycznych, które pozwalają na pełniejsze wykorzystanie zebranych danych doświadczalnych oraz bardziej kompleksowe wnioskowanie. Uzyskane wyniki w ramach przeprowadzanych badań mają zarówno walory poznawcze, jak również mogą mieć duże znaczenie praktyczne.

Mimo to, że praca doktorska została starannie przygotowana, to w pracy znajdują się jednak drobne niedociągnięcia, które wymagałyby poprawy. Ponadto pojawiają się wątpliwości, dotyczące pewnych elementów doświadczenia.

Stwierdzenie, na stronie 7, że pszenica ozima stanowi około 60-70% powierzchni uprawy zbóż nie jest prawdą, gdyż jest to około 30%. Zwrot „praktyki kulturalne” na stronie 10 jest dość dziwny, proponowałbym użyć zwrotu „praktyki uprawowe” lub „praktyki agrotechniczne”. W tabeli 3 brakuje informacji, jakiego gatunku dotyczy przedstawiona kalkulacja. Poza tym kalkulacja ta wygląda dość dziwnie, gdyż zakłada większy koszt herbicydów przy uprawie z zachwaszczeniem. Skoro ponosimy wyższe koszty herbicydów to chyba w ten sposób niszczymy chwasty?

Tabela 6 zawiera w tytule zwrot „narzędzia teledetekcyjne”, natomiast w tej tabeli są przedstawione prawie wyłącznie wskaźniki spektralne. Raczej nie nazywałbym wskaźników spektralnych narzędziami, tylko zmiennymi lub parametrami teledetekcyjnymi. Poza tym samo przedstawienie wskaźników spektralnych niewiele mówi, gdyż jest to bardzo ogólna informacja, z której nie wynika jak takie wskaźniki spektralne mają być użyte. Można byłoby tę tabelę nieco rozwinąć, na przykład dodając dodatkowe informacje, podobnie jak to jest w tabeli 7 lub 8.

Na stronie 31 znajduje się informacja: „Systemy satelitarne, takie jak Landsat, MODIS, Sentinel-2, czy WorldView...”, a następnie uszczegółowienie tego w tabeli 9, gdzie różne satelity lub sensory satelitarne są nazwane konstelacjami satelitarnymi. Nie jest to zbyt precyzyjne stwierdzenie, gdyż na przykład Landsat to jest seria różnych satelitów, z których każdy posiada więcej niż jeden sensor. MODIS jest to natomiast sensor satelitarny a nie satelita, gdyż znajduje się on na przykład na pokładzie satelitów Terra i Aqua. WorldView to są różne satelity z różnymi sensorami. Poza tym informacja w tabeli 9, że satelity te są stosowane do prognozowania pogody nie jest zgodna z rzeczywistością.

Jednym z kluczowych elementów przeprowadzonego doświadczenia jest potraktowanie życicy wielokwiatowej, jako chwastu wzorcowego. Mam wątpliwość dotyczącą tego, czy taki gatunek chwastu jest dobrym wyborem. Dlaczego na przykład miotła zbożowa, która powszechnie występuje w uprawach zbóż ozimych nie została potraktowana jako chwast wzorcowy, tylko życica wielokwiatowa, która nie jest tak powszechnie występującym chwastem? Mimo, że obydwa te chwasty należą do tej samej rodziny, to jednak ich odbicie spektralne jest zapewne inne. Dobór chwastu wzorcowego jest moim zdaniem bardzo ważny, gdyż w przypadku powszechnie występującego gatunku chwastu wyniki mogą być przeniesione bezpośrednio do praktyki rolniczej.

W metodyce przydałaby się pełniejsza informacja o właściwościach fizykochemicznych gleby, jej zasobności, ewentualnie innych właściwościach ważnych z agronomicznego punktu widzenia.

Przedstawienie danych meteorologicznych z tabel 19 i 20 w formie wykresów pozwoliłoby na łatwiejsze porównanie przebiegu pogody w poszczególnych latach. Podobnie w przypadku współczynnika Sielianiowa z tabeli 21.

Analizy statystyczne przeprowadzono z wykorzystaniem jednowymiarowej analizy wariancji, gdzie gatunek rośliny uprawnej i gęstość były potraktowane jako jeden czynnik. Być może lepszym podejściem byłoby przeprowadzenie dwuczynnikowej analizy wariancji. W związku z tym, że dla każdego gatunku były stosowane różne gęstości to konieczna byłaby analiza wariancji z zagnieżdżeniem czynników. Być może jednak takie podejście byłoby lepsze ze względu na większą moc testów statystycznych, czyli dałoby się udowodnić więcej statystycznie istotnych różnic między średnimi. Ewentualnie można byłoby przeprowadzić klasyczną dwuwymiarową analizę wariancji, gdzie byłoby trzy poziomy gęstości (niski, średni i wysoki) z uwzględnieniem wszystkich efektów, w tym interakcji między czynnikami. Być może nawet trójwymiarowa analiza wariancji byłaby w tym przypadku możliwa, gdzie zachwaszczenie byłoby trzeci czynnik. Brakuje wyjaśnienia dlaczego zastosowano jednowymiarową analizę wariancji, mimo to, że były trzy czynniki doświadczalne. Jeśli doświadczenia w każdym z lat były w tym samym układzie doświadczalnym, to jako czwarty czynnik można byłoby uwzględnić rok badań, co pozwoliłoby na syntezę wyników i wysunięcie bardziej ogólnych wniosków. Wyniki przedstawiono tylko odrębnie dla każdego roku, co moim zdaniem ogranicza nieco możliwość ich generalizowania.

W przypadku wysokości roślin mierzonej z pomiaru naziemnego i z pomiaru z UAV przydałoby się przedstawienie graficzne funkcji regresji, które by pokazywały związek jednego pomiaru z drugim, co pozwoliłoby lepiej ocenić zgodność tych dwóch wyników.

Wyniki PCA byłyby bardziej wartościowe, gdyby na wykresie 8 przedstawiono nie tylko badane cechy i wskaźniki spektralne, ale również przedstawiono kombinacje doświadczalne, gdyż można byłoby ocenić wielocechowe zróżnicowanie kombinacji między sobą. Poza tym, w przypadku PCA nie wiadomo na jakich danych taka analiza została wykonana. Czy na danych w jakiś sposób uśrednionych, czy na danych z poszczególnych poletek?

W przypadku analiz PCA i CA być może wskazane byłoby ograniczenie liczby zmiennych do mniejszej ich liczby. Większość wskaźników spektralnych jest bardzo silnie skorelowana dodatnio ze sobą i niosą one bardzo podobne informacje. Umieszczenie ich w jednej analizie wielowymiarowej powoduje, że mają one dominujący wpływ na uzyskane wyniki i taka wielowymiarowa analiza jest prawie redukowana do jednego wymiaru. To w szczególności widać na wynikach CA, gdzie pierwszy czynnik (F1) wyjaśnia aż 93,55% zmienności całego zbioru danych, więc dominujące jest zróżnicowanie względem osi poziomej a zmienność względem osi pionowej nie ma prawie żadnego znaczenia.

W tabeli 42 przedstawiono współczynniki determinacji, które z jednej strony są dobrą miarą powiązania cech, ale nie mówią o kierunku tego powiązania (dodatni czy ujemny). Przydałoby się wskazanie, które związki były dodatnie a które ujemne, gdyż jest to bardzo ważne.

W związku z tym, że wyniki przedstawiono tylko z podziałem na lata, to dyskusja wyników jest utrudniona. Potwierdza zatem to potrzebę wspólnego przeanalizowania wyników z wszystkich lat razem.

Wnioski w pracy odnoszą się do konkretnych odmian. Niestety oceniano tylko po jednej odmianie każdego z gatunków roślin uprawnych. Być może jednak dałoby się znaleźć pewne uzasadnienie, które by potwierdzało, że wyniki dla badanych odmian można odnieść również do innych odmian tych gatunków będących w rejestrze odmian roślin uprawnych?

Praca doktorska, mimo drobnych niedociągnięć, przedstawia bardzo interesujące wyniki, ze względu na bardzo kompleksowe podejście do badań. W badaniach uwzględniono bardzo dużą liczbę różnych cech. Badania przeprowadzono aż na trzech różnych gatunkach zbóż i oceniano każdy z nich przy trzech różnych gęstościach siewu. Uwzględniono bardzo wiele różnych zmiennych pozyskanych z danych teledetekcyjnych. Te wszystkie dane poddano również kompleksowym analizom statystycznym co pozwoliło na pełne wykorzystanie zebranych doświadczeń. Dzięki temu praca jest wysoce nowatorska i ma bardzo duże walory poznawcze i duże potencjalne walory praktyczne.

Wniosek końcowy

W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr Mateusza Szymańczyka pt. „Wykorzystanie systemów detekcji spektralnej do oceny kondycji zbóż ozimych w warunkach zmiennej agrotechniki i zachwaszczenia”, spełnia kryteria określone w art.13 ustawy z 14 marca 2003 r.

o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789), uwzględniając rozporządzenie MNiSW z 19 stycznia 2018 roku w sprawie trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie profesora (Dz.U. z 2018 r. poz. 261). zgodnie z art. 179 ustawy z 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669).

W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Ochrony Roślin - Państwowego Instytutu Badawczego w Poznaniu o dopuszczenie mgr Mateusza Szymańczyka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Dariusz Gozdowski

