

Poznań, 24 listopada 2024 r.

Dr hab. inż. Tomasz Piechota, prof. UPP
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Rolnictwa, Ogrodnictwa i Biotechnologii
Katedra Agronomii

**Recenzja
Rozprawy doktorskiej**

Mgr. inż. Mateusza Szymańczyka

pt. „Wykorzystanie systemów detekcji spektralnej do oceny kondycji zbóż ozimych w warunkach zmiennej agrotechniki i zachwaszczenia”

wykonanej pod kierunkiem **dr. hab. Romana Kierzka, prof. IOR-PIB**
oraz promotora pomocniczego **dr. hab. Henryka Ratajkiewicza**

Recenzję wykonano na podstawie pisma Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Ochrony Roślin, Państwowego Instytutu Badawczego, dr Anny Maćkowiak-Sochackiej, z dnia 20.11.2024r. sygn. RN/12/610/24, w związku z uchwałą Rady Naukowej Instytutu Ochrony Roślin-PIB, nr 119/XI z dnia 27 czerwca 2023.

Wybór tematu pracy

Zboża są jednym z podstawowych produktów żywnościowych oraz stanowią najpowszechniej uprawianą grupę roślin. Stanowią ważny element łańcucha żywnościowego. Dochodowość uprawy zbóż zazwyczaj jest niewysoka w porównaniu do innych roślin towarowych. Dodatkowo cena zbóż na rynkach światowych, która przekłada się na ceny krajowe, podlega wpływom zawirowań gospodarczych i politycznych, zwiększając ekonomiczne ryzyko uprawy. Wobec niewielkiej opłacalności uprawy, szczególnego znaczenia nabiera optymalizacja nakładów na produkcję zbóż.

Mgr inż. Mateusz Szymańczyk wskazał w swojej pracy na znaczenie oceny stanu plantacji w trakcie wegetacji dla prawidłowego planowania zabiegów agrotechnicznych. Swoje zainteresowanie badawcze skierował na metody detekcji spektralnej, szczególnie z wykorzystaniem bezzałogowych maszyn latających (dronów). Jak pisze we wstępie: „w ostatnich latach nastąpił znaczący rozwój technologii teledetekcyjnych” oraz „Stosowanie systemów detekcji spektralnej umożliwia szybkie i precyzyjne monitorowanie cech roślin”.

Doktorant podkreśla jednocześnie, że różnice w morfologii poszczególnych gatunków roślin uprawnych wpływają na zróżnicowanie odbicia spektralnego i w efekcie utrudniają ocenę i analizę stanu roślin. Wykorzystanie tych metod mogą również utrudniać inne czynniki, takie jak zachwaszczenie łąnu.

Do testowania dostępnych rozwiązań technicznych, oraz przydatności uzyskiwanych dzięki nim wskaźników, doktorant wybrał trzy rośliny testowe, ozime formy pszenicy, pszenżyta i żyta. Są to powszechnie uprawiane gatunki, zajmujące razem znaczną część całkowitej powierzchni zasiewów. Są one blisko spokrewnione, przez co mają podobną fizjologię i bardzo podobną agrotechnikę. Ułatwia to porównywanie wyników uzyskiwanych dla poszczególnych upraw.

Wciąż aktualny problem stanowi zachwaszczenie roślin uprawnych, które jest źródłem kosztów na kontrolę niepożądanego rośliności oraz strat ilości i jakości plonu, związanych z jego występowaniem. Wybór obecności chwastów, jako czynnika różnicującego stan łąnu jest więc aktualny i ważny. Możliwości konkurencji rośliny uprawnej z chwastami zależą od wielu czynników, wśród których można wymienić gatunek chwastu i rośliny uprawnej oraz zagęszczenie obu gatunków.

Liczebność osobników chwastów można ograniczać przez stosowanie odchwaszczania, natomiast rośliny uprawnej zmieniając gęstość siewu. Gęste siewy zwiększają konkurencyjność wobec gatunków niepożądanych, jednak wiążą się ze wzrostem kosztów materiału siewnego i zwiększoną konkurencją wewnątrz łąnu. Optymalna obsada jest wypadkową wielu czynników środowiskowych i agrotechnicznych.

W związku z powyższym, wybrany przez mgr Mateusza Szymańczyka temat pracy jest aktualny i ważny, zarówno dla nauki jak i praktyki rolniczej.

Ocena merytoryczna i formalna pracy

Przedstawiona do oceny praca doktorska liczy 182 strony, jest podzielona na siedem rozdziałów oraz zawiera nienumerowane rozdziały: bibliografia, streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz tabel, ilustracji i wykresów. Układ pracy jest typowy dla tego typu opracowań. Kolejne rozdziały to: „wstęp”, „hipoteza i cel pracy”, „przegląd literatury”, „materiały i metody badań”, „wyniki”, „dyskusja”, „wnioski”, „Rozdziały „przegląd literatury”, „materiały i metody badań” oraz „wyniki” zostały podzielone na podrozdziały pierwszego i drugiego rzędu, co ułatwia czytanie i przemieszczanie się po pracy. Materiał graficzny stanowi 13 rycin (4 fotografie i 9 wykresów) oraz 42 tabele.

Tytuł pracy jest sformułowany w sposób zwięzły i sugerujący zawartość dysertacji, zachęcający do zapoznania się z dziełem. Odzwierciedla zagadnienia, które znajdziemy w

kolejnych częściach pracy. Jednak, w mojej opinii, zbyt słabo podkreśla część pracy dotyczącą badań nad rozwojem i plonowaniem testowych roślin uprawnych oraz ich konkurencyjności wobec chwastów. To zagadnienie stanowi w pracy znaczną część kluczowych fragmentów opracowania, (wyniki, dyskusja, wnioski) i jest co najmniej równie istotne, co detekcja spektralna. W obecnym brzmieniu tytuł sugeruje, że zróżnicowanie agrotechniki i zachwaszczenia będzie jedynie tłem dla badań nad wykorzystaniem systemów teledetekcji.

Proponuję, w trakcie przygotowywania pracy do druku, przeredagować tytuł tak, aby bardziej zaznaczał tę część opracowania.

W pierwszym rozdziale (wstęp), liczącym 1,5 strony, autor wskazuje na znaczenie uprawy zbóż ozimych w Polsce i na Świecie oraz znaczenie precyzyjnej oceny kondycji roślin dla podejmowania świadomych decyzji dotyczących agrotechniki. Skrótowo omawia dynamiczny rozwój metod teledetekcyjnych w ostatnich latach i podkreśla ich możliwości w zakresie oceny różnych cech łanu roślin uprawnych. Podkreśla również konieczność prowadzenia dalszych prac nad rozwojem tych technik.

W ostatnim akapicie krótko zarysowuje zagadnienia, które stanowią zawartość dysertacji.

W kolejnym **rozdziale „hipoteza i cel pracy”**, autor stawia dwie hipotezy:

1. Regulacja gęstości siewu wybranych gatunków zbóż ozimych oddziałuje na ich konkurencyjność wobec chwastów, co wpływa na parametry plonowania oraz skład chemiczny i jakość ziarna.
2. Korelując wyniki pomiarów naziemnych i wskaźników spektralnych uzyskanych za pomocą kamery multispektralnej umieszczonej na bezzałogowym statku powietrznym możliwe jest efektywne monitorowanie tych zależności.

Hipotezy ta są uzasadnione aktualnym stanem wiedzy, co autor wykaże w kolejnym rozdziale (przegląd literatury) i korespondują z częścią eksperymentalną pracy. Jednak pierwsza z nich nie znalazła natomiast miejsca w tytule pracy, o czym wspomniałem powyżej.

Cele badań zostały określone zwięźle i precyzyjnie, w pełni odpowiadają zakresowi przeprowadzonych badań i analiz.

Rozdział „przegląd literatury” został podzielony na szereg podrozdziałów, co nie jest typowe dla tego typu prac ale ułatwia uporządkowanie wielowątkowego zagadnienia.

Autor rozpoczyna od charakterystyki zbóż ozimych, ich znaczenia, sposobów wykorzystania i specyfiki gatunkowej. Omawia pszenicę ozimą, żyto ozime i jęczmień ozimy.

Ten ostatni budzi zdziwienie, gdyż w części doświadczalnej ten gatunek nie występuje, w opisie brakuje natomiast pszenżyta ozimego.

Ważnym fragmentem jest analiza zmian powierzchni upraw ozimych w czasie, co podkreśla ich wzrastające znaczenie w gospodarce oraz uzasadnia wybór gatunków do badań własnych.

W kolejnej części przeglądu literatury omawiane są zagadnienia związane z zachwaszczeniem zbóż, w osobnych podrozdziałach aspekty agrotechniczne i ekonomiczne.

Następnie autor przechodzi do zagadnień związanych z teledetekcją, rozpoczynając od historii pomiarów teledetekcyjnych a następnie przechodzi do zależności pomiędzy światłem a barwnikami roślinnymi i zjawiska fluorescencji. W kolejnym podrozdziale doktorant omawia znaczenie poszczególnych zakresów długości fal w badaniach rolniczych.

Po tym wprowadzeniu w temat teledetekcji, następuje omówienie zastosowań teledetekcji w rolnictwie z dużym naciskiem na identyfikację stresów roślinnych wywoływanych czynnikami biotycznymi i abiotycznymi.

W kolejnej części rozdziału doktorant przechodzi do aspektów bardziej „technicznych”, przedstawia możliwy wpływ różnic morfologicznych pomiędzy gatunkami na odbicie spektralne, ograniczenia w stosowaniu detekcji spektralnej oraz dokonuje przeglądu systemów detekcji spektralnej i ich zastosowań w rolnictwie.

W rozdziale „materiały i metody badań” przedstawiono w kolejnych podrozdziałach: układ doświadczalny i agrotechnikę, zastosowane systemy detekcji spektralnej, dane meteorologiczne, pomiary biometryczne roślin, analizę ilościową i jakościową plonu, wskaźniki konkurencyjności, spektralne wskaźniki roślinne pozyskane z poziomu dronowego oraz zastosowane w pracy metody analizy statystycznej.

Opis metodyki badań jest dość szczegółowy, zwłaszcza w części dotyczącej spektralnych wskaźników pozyskanych z dronów. Z opisu nie wynika jednak, w jakim układzie doświadczalnym prowadzono doświadczenie. Przede wszystkim nie zostało jednoznacznie wskazane iloczynnikowe jest doświadczenie polowe oraz nie wskazano poziomów czynników. Z tabeli 14 wynika, że jest to doświadczenie z dziewięcioma poziomami czynnika lub czynników ale przecież należy tę liczbę podwoić ze względu na zróżnicowaną obecność chwastu testowego. Z opisu można domyślać się, że jest to doświadczenie jedno, dwu lub nawet trzyczynnikowe, jeśli jako czynniki przyjąć trzy normy wysiewu, trzy gatunki rośliny uprawnej oraz dwa poziomy występowania chwastu. Z dalszej części rozdziału, poświęconej analizie statystycznej dowiadujemy się, że przeprowadzono

jednokierunkową analizę wariancji, co sugeruje doświadczenie jednoczynnikowe. W rozdziale wyniki badań okazuje się jednak, że analizę statystyczną przeprowadzono osobno dla każdego gatunku i osobno dla kombinacji z zachwaszczeniem i bez zachwaszczenia. Takie podejście sugeruje, że są to serie kilku doświadczeń, przeprowadzonych na różnych gatunkach zbóż.

Powyższe wątpliwości wynikają z braku odpowiednio precyzyjnego opisu układu doświadczalnego.

Niezależnie od tego, pojawia się pytanie dlaczego zdecydowano się na niezależną ocenę każdego gatunku roślin, osobno dla kombinacji zachwaszczonych i bez zachwaszczenia. Przyjęcie, że cały kompleks poletek stanowi jedno doświadczenie dwu lub trzyczynnikowe umożliwiłoby znacznie szersze wnioskowanie statystyczne nad interakcjami gęstości siewu, gatunku zboża ozimego i obecności chwastu modelowego.

Oczekuję, że w trakcie obrony rozprawy, doktorant odniesie się do tej kwestii i wyjaśni, dlaczego przyjął taką metodę analizy.

Brakuje również informacji w jakich latach prowadzono badania, z opisu przebiegu pogody wynika, że były to cztery sezony wegetacyjne od 2015/16 do 2018/19. W dalszej części pracy brakuje natomiast wyników dla sezonu 2017/18. To również powinno zostać wyjaśnione w części metodycznej.

W rozdziale tym wystąpiły również drobniejsze niedociągnięcia, które należy skorygować w trakcie przygotowywania pracy do druku:

- ostatnie zdanie na stronie 37 jest niezrozumiałe, należy je przeredagować,
- tabela 15 jest zbędna, można ją usunąć,
- ostatni akapit na stronie 51 oraz pierwszy na stronie 52 powtarzają te same informacje,
- w metodyce oceny obsady roślin (strona 55) nie podano terminu (fazy rozwojowej) w której przeprowadzano oznaczenia.
- brakuje metodyki oznaczania liczby ziaren w kłosie

Wyżej wymienione niedociągnięcia mają charakter wtórny, wystąpiły głównie na etapie opracowania wyników i przygotowywania tekstu pracy, nie mają wpływu na poprawność przeprowadzonych doświadczeń ani merytoryczną wartość uzyskanych wyników.

Należy podkreślić, że wprowadzenie do doświadczenia czynnika obecności zachwaszczenia w postaci jednego gatunku modelowego, wprowadzonego na wszystkie

obiekty w tej samej ilości początkowej, w znacznym stopniu zwiększa możliwości interpretacji i wnioskowania. Wyeliminowano bowiem zmienność ilościową i gatunkową populacji chwastów segetalnych, naturalnie występujących na polu doświadczalnym, w zależności od gatunku i gęstości łanu uprawianych zbóż, co wprowadzałoby dodatkowe zmienne.

Rozdział „wyniki badań” został podzielony na dwa podrozdziały w których wyodrębniono dodatkowo podrozdziały niższego rzędu. Wyniki przedstawiono w formie graficznej w 19 tabelach i na ośmiu wykresach, oraz omówiono w tekście. Tabele zostały skonstruowane w sposób ułatwiający zapoznanie się z wynikami badań oraz opatrzone odpowiednimi odniesieniami do wyników analizy statystycznej (litera a,b itd.).

Doktorant, na podstawie wyników badań polowych, wykazał liczne zależności pomiędzy gęstościami siewu i obecnością zachwaszczenia a produkcją biomasy, plonem ziarna i parametrami plonowania ozimych form pszenicy, pszenżyta i żyta.

Uzyskane wyniki wskazują, że największą wrażliwością na obecność życicy wielokwiatowej w łanie charakteryzowała się pszenica ozima a najmniejszą żyto ozime. Wykazano, że zwiększanie gęstości siewu poprawiało konkurencyjność rośliny uprawnej wobec chwastu modelowego, wynika to zarówno z zaobserwowanych różnic np. w biomacie i liczbie roślin życicy wielokwiatowej jak i wyliczonych wskaźników np. współczynnika biomasy, wskaźnika konkurencyjności wzajemnej, współczynnika biomasy.

Zwiększenie obsady roślin o 30% względem zalecanej, pomimo pozytywnego wpływu na ograniczenie rozwoju chwastów, nie zawsze wpływało pozytywnie na wielkość i jakość plonów zbóż, co autor tłumaczy wzrostem wewnętrznej konkurencji w łanie, szczególnie w latach o trudniejszych warunkach wegetacji.

Pomiar wysokości roślin za pomocą drona dawał wyniki wyższe, niż pomiar tradycyjną metodą bezpośredniego pomiaru roślin.

Z pośród ocenianych wskaźników spektralnych, wskaźniki MCARI, RDVI, MSR, DVI, GEMI, TGI, SAVI, NDVI, EVI, LAI, NDWI, GLI, GARI, CIG, SIPI i ARVI są najbardziej istotne w wyznaczaniu parametrów ilościowych i jakościowych plonu zbóż ozimych.

Ten rozdział (wyniki badań) jest bardzo obszerny, zajmuje 65 stron maszynopisu. Formom graficznym towarzyszy bardzo szczegółowy opis wyników, który jest w wielu miejscach bardzo ścisłym powtórzeniem wartości zawartych w tabelach. Zadaniem tekstu nie

powinno być powielanie danych z tabel a raczej wskazywaniem najważniejszych zależności i różnic, tylko w istotnych momentach uzupełnionym przez dane liczbowe. Nie tylko skróciłoby to tekst, który jest bardzo długi i trudny w odbiorze, ale również podniosło wartość merytoryczną rozdziału.

Mgr inż. Mateusz Szymańczyk zawarł w tekście rozdziału „wyniki badań” liczne akapity o charakterze komentarzy i dyskusji np. ostatnie dwa akapity na stronie 82. Są to wartościowe przemyślenia autora, jednak przynależą raczej do rozdziału „dyskusja”. W rozdziale „wyniki badań” przyczyniają się do jego znacznego wydłużenia i zaburzają podział pracy na kolejne części.

W podrozdziale 5.1.2, jednym z omawianych parametrów jest obsada roślin, podana w sztukach na 1 metr bieżący rzędu. Teoretycznie rząd, jako linia nie posiada szerokości i nie może być traktowany jako jednostka powierzchni. Parametr jest raczej zagęszczeniem roślin w rzędzie. Natomiast najlepszym rozwiązaniem, w mojej opinii byłoby wyliczenie obsady w przeliczeniu na metr kwadratowy. Jest to powszechnie stosowana jednostka a wyniki można bezpośrednio porównać z zaplanowaną na danym obiekcie doświadczalnym obsadą.

W tym samym rozdziale omawiana jest masa jednego ziarniaka jako parametr określający masę ziaren, powszechnie stosowana jest masa tysiąca ziaren (MTZ). Zastosowanie tego parametru wniosłoby te same dane, ale w znacznie wygodniejszej formie, bez konieczności wprowadzania kilku miejsc dziesiętnych, z których dopiero drugie zawiera cyfrę znaczącą. Wybrany przez doktoranta sposób zmniejsza również dokładność podania wyników np. tabela 27, wynik 0,04g to odpowiednik MTZ w zakresie od 35 do 44 gramów.

W rozdziale 5.1.5. omawiane są zmiany LAI (indeksu powierzchni liści) w zależności od gęstości siewu, gatunku rośliny oraz obecności chwastu. Zarówno w metodyce, jak i w tej części omówienia wyników nie wyjaśniono, czy na poletkach zachwaszczonych życią wyniki pomiarów obejmują wszystkie liście czy też tylko ulistnienie uprawianych zbóż, a jeśli tak, to w jaki sposób wyeliminowano wpływ życicy na pomiar?

Autor często używa określeń: spadek, spadło itp., w odniesieniu do sytuacji, gdy poprawniej jest użyć: obniżył się, uległ obniżce, zmniejszył się itp.

Wątpliwości budzi również podana kilkakrotnie np. w tabeli 29, 30 i 31, informacja, że oznaczenia wykonywano w podanym dniu (np. 13 06 2017), w fazie rozwojowej BBCH 51 itp. Itd. Ten zapis sugeruje, że wszystkie gatunki zbóż osiągały te same fazy rozwojowe w tych samych terminach, czy tak było rzeczywiście?

W „**Dyskusji**” wyników, mgr inż. Mateusz Szymańczyk odniósł się do uzyskanych wyników i skonfrontował je z dostępną literaturą. Podjął się również oceny przydatności badanych wskaźników w rolnictwie. Z jednej strony uzasadniał ich przydatność, zwłaszcza w powiązaniu z innymi, bardziej tradycyjnymi metodami oceny stanu plantacji. Z drugiej strony wskazywał na istniejące ograniczenia w ich zastosowaniu

Wskazywał również, że dalsze prace powinny się skupiać na integracji danych pochodzących z różnych metod teledetekcji a następnie na integracji tych narzędzi z praktykami rolnictwa precyzyjnego, co może przyczynić się do zwiększenia efektywności produkcji rolnej i zrównoważonego zarządzania zasobami.

Rozdział „wnioski” zawiera piętnaście wniosków, które częściowo są bardziej stwierdzeniami, niż wnioskami, dlatego bezpieczniej byłoby nazwać ten rozdział: stwierdzenia i wnioski.

Treść wniosków wynika z uzyskanych wyników i w zdecydowanej większości jest ich syntetycznym streszczeniem. Niektóre z nich zawierają jednak również elementy komentarza a nawet dyskusji, co nie przynależy do tej części pracy, a przede wszystkim bardzo wydłuża tekst poszczególnych wniosków, które przez to przestają być wnioskami. Najdłuższy z nich, wniosek 7, składa się z 21 wersów tekstu. Znacznego skrócenia wymagają również wnioski nr 5, 6, 8, 10, 13 i 15.

Jako kluczowy, ze względu na temat pracy uważam wniosek 14, w którym stwierdzono, że ”wskaźniki takie jak SR, MSR, VARI, GARI, ARVI i Vig były silnie skorelowane i wpływały na zmienność danych, co czyni je przydatnymi do oceny zagęszczenia zbóż. Wskaźnik MCARI znacząco wyróżniał się i może być szczególnie użyteczny w identyfikacji gatunków zbóż, odzwierciedlając specyficzne cechy roślin”.

Na „Bibliografię” składa się 267 pozycji literatury, w tym prawie wszystkie anglojęzyczne. Literatura została dobrana odpowiednio do tematyki pracy i poprawnie wykorzystana. Wiele pozycji było przy tym wielokrotnie przywołane w tekście np. Lemerle i in. 2004, Satorre i in. 1992 czy Weiner i in. 2001.

W wykazie literatury wystąpiły jednak liczne nieścisłości i niedociągnięcia, które utrudniają czytelnikowi korzystanie z bibliografii.

Należy tu wymienić błędne dane, które uniemożliwiają identyfikację i dotarcie do publikacji, przykładowo: Czarnecki i in. 2016, Fogelfors 1999, Głab i in. 2016, Szymański i in. 2018, Witkowicz i in. 2015,

Występują również braki w danych np. Gębarowski 2016, Hahansson 2003, Hunter i in. 2009, Jenerowicz 2004, Thenkabail 2015, Zimdahl 2007, oraz cztery pozycje na stronie 160, w których nie podano autorów prac.

Odnośniki w tekście były pełne i jednoznaczne, jednak ograniczały się do nazwiska pierwszego autora i roku opublikowania. Dobrym zwyczajem i powszechną praktyką jest wykazywanie, że dana publikacja jest dziełem zespołu autorów, choćby przez skromny dopisek „i inni”, w skrócie „i in.”.

Wniosek końcowy

Przedłożona do recenzji praca doktorska mgr. inż. Mateusza Szymańczyka, **pt. „Wykorzystanie systemów detekcji spektralnej do oceny kondycji zbóż ozimych w warunkach zmiennej agrotechniki i zachwaszczenia”**, wykonana pod kierunkiem dr. hab. Romana Kierzka, prof. IOR-PIB oraz promotora pomocniczego dr. hab. Henryka Ratajkiewicza, spełnia wymogi formalne i naukowe stawiane rozprawom doktorskim. Doktorant wykazał się wiedzą i umiejętnościami niezbędnymi do prowadzenia badań naukowych i opracowywania uzyskanych wyników.

Uwagi do pracy oraz wskazane, liczne niedociągnięcia, mogą być uzupełnione lub poprawione i nie zmniejszają wartości przedstawionej pracy, częściowo stanowią głos w przyszłej dyskusji nad pracą, w trakcie publicznej obrony.

W związku z tym stwierdzam, że oceniana rozprawa doktorska **pt. „Wykorzystanie systemów detekcji spektralnej do oceny kondycji zbóż ozimych w warunkach zmiennej agrotechniki i zachwaszczenia”** spełnia wymogi, zawarte w ustawie z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2016, poz. 882 z późn. zm.) oraz wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Ochrony Roślin – Państwowego Instytutu Badawczego w Poznaniu o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr. inż. **Mateusza Szymańczyka** do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

dr hab. inż. Tomasz Piechota, Prof. UPP