

Skierniewice, 24.08.2023 r.

Prof. dr hab. Lidia Sas-Paszt  
Instytut Ogrodnictwa-PIB  
Zakład Mikrobiologii i Ryzosfery  
ul. Konstytucji 3 Maja 1/3  
96-100 Skierniewice  
Lidia.sas@inhort.pl

## RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

**Mgr. Anny Miernik pt.: "Analiza wpływu technologii rolnictwa precyzyjnego na aktywność mikrobiologiczną gleby"**, wykonanej na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, pod kierunkiem dr hab. inż. Pawła Kiełbasy, prof. URK, z Katedry Eksploatacji Maszyn, Ergonomii Procesów Produkcyjnych.

Znaczenie podjętej tematyki badawczej rozprawy doktorskiej jest bardzo istotne, gdyż określa ona relacje ilościowo-jakościowe pomiędzy wybranymi systemami rolnictwa precyzyjnego, parametrami fizyko-chemicznymi gleby i zidentyfikowanymi mikroorganizmami glebowymi, ich przestrzennym występowaniem w profilu glebowym, liczebnością, różnorodnością i aktywnością. Technologie rolnictwa precyzyjnego mają istotne znaczenie dla wyników finansowych produkcji, maksymalizacji plonów i minimalizacji ingerencji w środowisko glebowe.

Pomimo intensywnych badań, dotychczas brak jest jakościowych danych dotyczących wpływu technologii rolnictwa precyzyjnego na mikrobiom gleby. Wyniki badań przedłożonej pracy są podstawą do opracowania wytycznych metodycznych dla technologii uprawy uwzględniającej informacje o mikroorganizmach glebowych. Praca obejmuje badania przeprowadzone w trzech gospodarstwach, o zróżnicowanej specyfice produkcji, parku maszynowym i technologiach, gdzie na wybranych obszarach określono właściwości fizyko-chemiczne i biologiczne gleby. Dzięki przeprowadzonym badaniom i analizom, uzyskano kompleksowy obraz zmienności właściwości gleby w przestrzeni, co pozwoliło opracować trójwymiarową mapę potencjału produkcyjnego gleby. Stwierdzono, że technologia uprawy i systemy rolnictwa precyzyjnego mają istotny wpływ na strukturę i zróżnicowanie przestrzenne mikroorganizmów glebowych. Wykorzystując analizę jakościową mikroorganizmów stwierdzono, że promieniowce są najlepszym biomarkerem rolnictwa precyzyjnego, a bakterie wegetatywne i grzyby są markerami, które można stosować przy mniej zaawansowanych systemach rolnictwa precyzyjnego. Zaobserwowano, że na podstawie struktury ilościowej mikroorganizmów glebowych możliwa jest przestrzenna identyfikacja warunków wodno-powietrznych gleby i zawartości makroelementów. Gleby o wysokim zagęszczeniu, wilgotności, przewodnictwie elektrycznym i niskiej zawartości azotu, fosforu, potasu, magnezu i niskim odczynie charakteryzują się niską liczebnością drobnoustrojów w profilu glebowym.

Wyniki pracy wnoszą nowe, bardzo cenne i nieznane dotychczas informacje nt. mikrobiomu gleb w ekosystemach uprawy roślin. Poprawa zrównoważenia rolnictwa wymaga optymalnego wykorzystania żyzności gleby i zarządzania jej właściwościami biofizyko-chemicznymi, w tym bioróżnorodnością gleby. Stosowanie praktyk zwiększających aktywność biologiczną gleby zapewni jej długoterminową produktywność i zdrowie plonów, szczególnie na glebach zdegradowanych. Prowadzone w ostatnich latach interdyscyplinarne badania gleby pozwalają zrozumieć współzależności roślina-gleba-mikroorganizmy. Zanieczyszczenie środowiska i erozja gleb, związana z nadmiernym stosowaniem nawozów mineralnych i pestycydów stanowią poważne zagrożenie dla środowiska. Technologie mikrobiologiczne coraz częściej znajdują zastosowanie w rolnictwie i ograniczają nadmierne stosowanie nawozów chemicznych i pestycydów.

Pomimo licznych badań, brak jest ilościowych i jakościowych danych o wpływie systemów technologii rolnictwa precyzyjnego na stan mikrobiologiczny gleby. Nie rozpoznano dotychczas synergicznych oddziaływań gleby-wody-powietrza na ilościowe i jakościowe parametry mikroorganizmów w różnych typach gleb i systemach rolnictwa precyzyjnego.

Problem badawczy jest właściwie ukierunkowany i obszernie dyskutowany z danymi z literatury światowej nt. wpływu technologii stosowania precyzyjnych, efektywnych dawek nawozowych na mikroorganizmy, będące markerami identyfikującymi potrzeby nawozowe roślin. Gleba jest jednym z najważniejszych i najbardziej skomplikowanych środowisk naturalnych, w których rozwijają się mikroorganizmy, warunkujące utrzymanie jej żyzności i produktywności roślin na wysokim poziomie.

Badania miały charakter poznawczy i aplikacyjny. Jestem przekonana, że po wdrożeniu wyników badań do praktyki, możliwym będzie ich wykorzystanie w uprawach roślin. Zabiegi uprawowe wpływając na wegetację roślin i procesy mikrobiologiczne zachodzące w glebie kształtują lepsze warunki dla wzrostu i plonowania roślin oraz aktywności i liczebności mikroorganizmów, tj. nawożenie organiczne, podwyższenie wartości odczynu, wilgotności gleby i poprawa warunków powietrzno-wodnych.

Uważam, że temat dysertacji podjęty przez Doktorantkę jest ważny z naukowego i praktycznego punktu widzenia. Doceniam, że doktorantka podjęła problematykę wpływu zróżnicowanej specyfiki produkcji, technologii uprawy i parku maszynowego w 3 różnych gospodarstwach na właściwości mechaniczne, elektryczne, chemiczne i mikrobiologiczne gleby.

Przeprowadzono badania laboratoryjne, wygenerowano mapy, ukazujące przestrzenną zmienność każdej zmierzonej wielkości, uzyskano kompleksowy obraz zmienności właściwości gleby w przestrzeni i opracowano trójwymiarową mapę potencjału produkcyjnego gleby. Stwierdzono, że technologia uprawy ma istotny wpływ na strukturę mikroorganizmów glebowych. Wyniki badań wnoszą nowe, cenne informacje nt. wpływu analizowanych systemów rolnictwa precyzyjnego na występowanie i przestrzenne zróżnicowanie drobnoustrojów. Wykorzystując analizę jakościową mikroorganizmów stwierdzono, że promieniowce są najlepszym biomarkerem rolnictwa precyzyjnego, a bakterie wegetatywne i grzyby są markerami, w mniej zaawansowanych systemach rolnictwa precyzyjnego. Na podstawie struktury ilościowej mikroorganizmów glebowych możliwa jest przestrzenna identyfikacja warunków wodno-powietrznych gleby i zawartości makroelementów. Obszary o wysokim zagęszczeniu, wilgotności, przewodnictwie elektrycznym gleby oraz niskiej zawartości azotu, fosforu, potasu, magnezu i niskim pH charakteryzują się niską liczebnością drobnoustrojów w profilu glebowym.

Przedłożona mi do oceny praca napisana jest w sposób zgodny z zasadami obowiązującymi przy prezentowaniu rozpraw doktorskich, przedstawiających wyniki doświadczeń polowych. Praca doktorska obejmuje 304 strony, ma poprawnie przyjętą budowę i składa się z 12 rozdziałów: wstęp, przegląd literatury, problem badawczy, cel i zakres pracy, przedmiot i warunki badań, materiały i metody, wyniki, analiza statystyczna, dyskusja, wnioski, literatura i Aneks. Streszczenie zamieszczono na początku pracy, w języku polskim i angielskim. Bibliografia zawiera 7 aktów normatywnych i 192 pozycje literatury (w tym 116 pozycji literatury w języku angielskim), dobrze dobrane i wykorzystanego piśmiennictwa. Wyniki zilustrowano 349 rysunkami i 238 tabelami.

Cele pracy zdefiniowano poprawnie w nawiązaniu do tytułu rozprawy. Głównym celem pracy doktorskiej było określenie relacji ilościowych i jakościowych pomiędzy zidentyfikowanymi mikroorganizmami glebowymi a wybranymi parametrami fizyko-chemicznymi gleby, po zastosowaniu precyzyjnych technologii produkcji, o zróżnicowanym poziomie zaawansowania. Wyniki pracy są bardzo cenne dla nauki i dla praktyki rolniczej.

**Szczegółowa ocena pracy****Tytuł pracy**

Tytuł pracy jasno określa tematykę i zakres przeprowadzonych badań.

**Streszczenie**

Jest jasne i poprawnie napisane w języku polskim i angielskim, zamieszczono go na początku pracy (str. 1-3). Przeczytanie streszczenia umożliwi czytelnikowi zorientowanie się w treści pracy i przebiegu prowadzonych badań.

**Spis treści**

Obejmuje spis poszczególnych rozdziałów pracy oraz listę poszczególnych wyników badań. Umożliwia zapoznanie się z zastosowanymi metodami badawczymi, pomiarami, wynikami, dyskusją, wnioskami, literaturą i Aneksem.

**Wstęp**

Jest krótki (str. 6-7), poprawnie napisany. Zawiera bardzo dobre uzasadnienie celowości zaplanowanych badań, co ułatwia czytelnikowi zaznajomienie się z treścią pracy. Wstęp pracy jest bardzo dobrze napisany i umożliwia poznanie wpływu technologii rolnictwa precyzyjnego na bio-fizyko-chemiczne właściwości gleby.

**Przegląd literatury**

Jest bardzo dobrze napisany i obejmuje 9 podrozdziałów. Doktorantka przytacza i omawia 192 pozycje literatury, 116 pozycji literatury w języku angielskim i 76 pozycji w języku polskim, które mają związek z przeprowadzonymi badaniami. Cytowane dane z literatury światowej jasno nawiązują do przeprowadzonych doświadczeń i analiz.

**Hipotezy i cele pracy**

Rozdział ten precyzyjnie opisuje cel i hipotezy badawcze pracy. Celem przeprowadzonych badań było określenie relacji ilościowych i jakościowych pomiędzy zidentyfikowanymi mikroorganizmami glebowymi a wybranymi parametrami fizycznymi gleby, z zastosowaniem precyzyjnych technologii produkcji, o zróżnicowanym stopniu zaawansowania. Uwzględniono informacje o mikroorganizmach glebowych, determinantach poszczególnych zabiegów uprawowych, nawożenia i ochrony chemicznej.

**Przyjęto trzy hipotezy badawcze:**

- Identyfikacja rodzajów mikroorganizmów w profilu glebowym do oceny stanu przydatności produkcyjnej gleby i jej zasobności w składniki mineralne.
- Przestrzenna identyfikacja zróżnicowania warunków wodno-powietrznych gleby na podstawie struktury mikroorganizmów glebowych.
- Identyfikacja przestrzenna spektrum mikroorganizmów w profilu glebowym umożliwiająca rozszerzenie czynników decyzyjnych w planowaniu uprawy i nawożenia w systemach rolnictwa precyzyjnego.

Zakres pracy obejmował roczne badania realizowane w trzech gospodarstwach, o zróżnicowanej specyfice produkcji, parku maszynowym i technologiach. Wytypowano, szczegółowo opisano i zilustrowano poligony doświadczalne o łącznej powierzchni 160 ha. Wykonano szczegółowe pomiary właściwości mechanicznych, elektrycznych, chemicznych i mikrobiologicznych gleby. Wyniki zilustrowano na kolorowych rycinach. Uwzględniono zróżnicowanie przestrzenne gleb i zasobności gleb w mikroorganizmy i składniki mineralne, korelacje parametrów bio-fizyko-chemicznych i różnorodności gatunkowej mikroorganizmów w strukturze 3D. Pomiary obejmowały kilka poziomów podglebia, wielkość dawki nawozowej, liczbę przejazdów technologicznych, wielkość i jakość plonu.

### **Material i Metody**

Rozdział ten jest jasno i przejrzysto napisany, obejmuje przedmiot i warunki badań. Metodyka wyodrębniania pól eksperymentalnych i identyfikacja miejsc poboru próbek są szczegółowo opisane i zilustrowane. Metody badawcze analiz mikrobiologicznych gleby są właściwie dobrane i poprawnie opisane. Identyfikację mikroorganizmów przeprowadzono w Laboratorium Mikrobiologicznym Jagiellońskiego Centrum Innowacji w Krakowie. Izolacje mikroorganizmów oraz pomiary parametrów fizycznych i chemicznych gleby opisano szczegółowo i zilustrowano licznymi rysunkami. Do wyboru pól doświadczalnych posłużyły dane archiwizowane w danym gospodarstwie, ze znanym płodozmianem (sprzed min. 10 lat), dawkami nawozowymi, plonowaniem roślin i technologią uprawy gleby (przez min. 5 lat) oraz stopniem zawansowania systemów rolnictwa precyzyjnego.

Do obliczeń zastosowano właściwie dobrane nowoczesne metody statystyczne. Wyniki poprawnie opisano i prawidłowo zinterpretowano. Do analizy statystycznej danych wykorzystano program Statistica 13 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Dane poddano jednoczynnikowej analizie wariancji (ANOVA), istotność różnic pomiędzy średnimi zweryfikowano testem Scheffe'go ( $\alpha=0,05$ ). Aby określić wpływ badanych parametrów chemicznych i fizycznych na występowanie poszczególnych gatunków drobnoustrojów występujących w profilu glebowym przeprowadzono analizę korelacji r-Pearsona.

### **Wyniki**

W tym rozdziale autorka przedstawia 47 tabel i wiele rysunków z wynikami badań. Pozostałe wyniki zaprezentowano w Aneksie (Rozdział 12), zawierającym 191 Tabel. Łącznie w pracy zamieszczono 238 Tabel i 349 Rysunków, co stanowi bardzo szeroki, interdyscyplinarny zakres badań i uzyskanych wyników. Wyniki prezentują wysoki poziom naukowy przeprowadzonych doświadczeń i analiz. Wyniki własne Doktorantka właściwie interpretuje i omawia z wynikami badań z literatury światowej. Świadczy to o opanowaniu wiedzy teoretycznej, umiejętności poprawnego opisu i interpretacji wyników badań.

Włączenie analiz mikrobiologicznych do listy czynników decyzyjnych w planowaniu uprawy i nawożenia umożliwi lepsze sterowanie jakością gleb uprawnych, co w konsekwencji zoptymalizuje stosowanie zabiegów agrotechnicznych i nawożenia roślin, wpłynie korzystnie na ochronę środowiska glebowego i przyczyni się do rozwoju technologii rolnictwa precyzyjnego.

### **Dyskusja**

Dyskusja wyników z przeprowadzonych badań własnych jest poprawnie i wyczerpująco opisana na tle wyników z literatury światowej. Dane z literatury światowej są odpowiednio cytowane i obejmują najnowsze trendy wpływu właściwości biochemicznych, mikrobiologicznych i biologicznych gleby na zmiany w jakości gleby. Dyskutowane wyniki własne i cytowane dane z literatury światowej odnoszą się również do wpływu spektrum gatunkowego mikroorganizmów na stan jakościowy badanej gleby. Doktorantka poprawnie interpretuje wyniki badań własnych w odniesieniu do wyników cytowanej literatury, co świadczy o Jej dużej wiedzy, dojrzałości naukowej i dobrze opanowanym warsztacie badawczym. Doktorantka posiada wszechstronną wiedzę teoretyczną i praktyczną, dotyczącą istotnych problemów związanych z wpływem zabiegów agrotechnicznych tj. nawożenie naturalne i nawozami mineralnymi na strukturę liczebności i różnorodności gatunkowej mikroorganizmów glebowych.



### **Wnioski**

Zaprezentowane wnioski mają uzasadnienie w odniesieniu do przeprowadzonych badań podstawowych i aplikacyjnych oraz tytułu rozprawy. Wynika to z poprawnie przyjętej metody statystycznego opracowania wyników. Wyniki badań i wnioski potwierdzają sformułowane w rozprawie hipotezy, zakładające, że istnieje możliwość przestrzennej identyfikacji zróżnicowania warunków wodno-powietrznych gleby na podstawie struktury mikroorganizmów glebowych oraz identyfikacji rodzajów mikroorganizmów w profilu glebowym, pozwalających ocenić stan przydatności produkcyjnej gleby oraz stopień jej zasobności w składniki mineralne. Wykazano, że identyfikacja przestrzenna spektrum mikroorganizmów w profilu glebowym pozwala na rozszerzenie czynników decyzyjnych w planowaniu zabiegów uprawowych i nawożenia w systemach rolnictwa precyzyjnego.

### **ZA WYRÓŻNIAJĄCE OSIĄGNIĘCIA PRACY UWAŻAM:**

- Wykazanie, że stosowana technologia uprawy wpływa na strukturę ilościowo-jakościową mikroorganizmów, co interesująco zilustrowano na licznych, kolorowych Rycinach.
- Określenie grupy drobnoustrojów stanowiących „markery” technologii rolnictwa precyzyjnego. Promieniowce, wykazujące najniższe zróżnicowanie przestrzenne, wskazano jako biomarker stopnia zaawansowania technologii rolnictwa precyzyjnego, a grupy bakterii vegetatywnych i grzybów za markery stosowania mniej zaawansowanych systemów rolnictwa precyzyjnego.
- Wykazano istotny związek pomiędzy parametrami fizycznymi gleby, a występowaniem mikroorganizmów w glebie. W glebach o wysokim stopniu zagęszczenia, wilgotności i przewodności elektrycznej odnotowano niskie liczebności drobnoustrojów w profilu glebowym.
- Stwierdzono istotny związek pomiędzy parametrami chemicznymi gleby, a występowaniem mikroorganizmów w glebie. Gleby o niskiej zawartości azotu, fosforu, potasu, magnezu i niskim pH charakteryzują się niską liczebnością drobnoustrojów w profilu glebowym.
- Zidentyfikowano gatunki mikroorganizmów na podstawie, których można dokonać oceny przydatności produkcyjnej gleby i jej zasobności w wybrane makroelementy.
- Obecność w glebie grzybów z rodzajów *Aspergillus* i *Penicillium* wpływa na pH i poziom wilgotności gleby. Gatunkami skorelowanymi z podwyższoną zasobnością gleby w azot i magnez są bakterie z rodzaju *Bacillus*. Grzyby z rodzaju *Aspergillus* wpływają na podwyższoną wilgotność gleby i zawartość Mg oraz niskie pH. Grzyby z rodzaju *Penicillium* wpływają na niskie pH i podwyższoną zawartość Mg w glebie.
- Uzyskane wyniki poszerzają czynniki decyzyjne w planowaniu uprawy i nawożenia w systemach rolnictwa precyzyjnego, o identyfikację przestrzenną mikroorganizmów, wpływających na stopień biologizacji gleby i wykorzystanie jej potencjału produkcyjnego.

### **Uwagi:**

- W pracy są też drobne uchybienia redakcyjne (np. Rozdział wnioski i Literatura), ale nie mają one istotnego wpływu na wysoką wartość merytoryczną pracy. Niektóre sformułowane wnioski są zbyt długie, zawierają uchybienia stylistyczne. Niektóre słowa zawierają błędy literowe, np. str. 288 pkt.:1, 2, str. 290 pkt.: 5.
- Przedstawiona lista pozycji literatury zawiera nieuporządkowane zapisy dat i nazw czasopism, w których opublikowano prace.
- Opisy niektórych Rysunków są mało czytelne, opisane zbyt małą czcionką.

**Zagadnienia szczegółowe do wyjaśnienia:**

- co było powodem wyboru do doświadczeń 3 wytypowanych gospodarstw.
- w jakim stopniu liczebność bakterii i grzybów w glebie zależna była od typu gleby/upraw roślin i technologii rolnictwa precyzyjnego.
- jakie inne, oprócz scharakteryzowanych w pracy, rodzaje i gatunki bakterii i grzybów występowały w analizowanych próbach gleb.
- który z badanych czynników rolnictwa precyzyjnego w największym stopniu wpływał na liczebność i aktywność mikroorganizmów glebowych.

**OCENA KOŃCOWA**

Przedstawioną mi do oceny rozprawę doktorską Pani mgr. Anny Miernik oceniam bardzo wysoko. Doktorantka wykazała się bardzo dobrą znajomością podjętej tematyki badawczej, umiejętnością właściwego planowania i wykonywania doświadczeń (zastosowaniem technik laboratoryjnych stosowanych w ośrodkach krajowych i zagranicznych) oraz interpretacji wyników i formułowania wniosków. Doktorantka zrealizowała wszystkie postawione cele naukowo-badawcze. Dokładnie opanowała literaturę związaną z tematem badawczym. Zgromadziła i opracowała bardzo wiele cennych wyników badań i wyróżniająco opracowała rozprawę doktorską. Wyniki pracy doktorskiej są bardzo cenne dla nauki i praktyki, gdyż wnoszą nowe informacje o wpływie grup mikroorganizmów na właściwości fizyczne i chemiczne różnych typów gleb, o zróżnicowanej specyfice produkcji. Bardzo cennym jest przeprowadzenie doświadczeń polowych w warunkach uprawy roślin, niezależnie w 3 towarowych gospodarstwach, na różnych typach gleb, o zróżnicowanym stopniu technologii rolnictwa precyzyjnego.

Bardzo wysoko oceniam Doktorantkę za szeroki zakres pomiarów i obserwacji w ramach przeprowadzonych doświadczeń, szczegółową ocenę jakościową i ilościową różnych grup mikroorganizmów i fizyko-chemicznych parametrów gleby oraz ich interesującą wizualizację na rycinach. Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorantka posiada bardzo wysoki poziom wiedzy teoretycznej, w dyscyplinie Inżynieria Rolnicza oraz dużą umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Praca jest wnikliwie napisana oraz prezentuje bardzo wartościowy i wyróżniający poziom merytoryczny, w skali kraju i świata.

W mojej ocenie przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr. Anny Miernik w pełni spełnia wszelkie wymogi stawiane tego typu pracom i dlatego wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Wysoką Radą Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Z powodu wysokiej wartości naukowej pracy oraz wartościowych merytorycznie wyników poznawczych i aplikacyjnych, zgłaszam wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. Anny Miernik pt. „Analiza wpływu technologii rolnictwa precyzyjnego na aktywność mikrobiologiczną gleby”.

Skierniewice, 24.08.2023r.

Prof. dr hab. Lidia Sas-Paszt

*Lidia Sas-Paszt*

INSTYTUT OGRODNICTWA  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY  
Zakład Mikrobiologii i Ryzosfery  
Kierownik Zakładu Mikrobiologii i Ryzosfery  
Prof. dr hab. Lidia Sas-Paszt