

Wrocław 28.01.2025 r.

dr hab. inż. Katarzyna Pentos, prof. uczelni
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Wydział Przyrodniczo-Technologiczny
ul. Norwida 25, 50-375 Wrocław
email: katarzyna.pentos@upwr.edu.pl
tel. 608527533



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Zawady

Badanie cech geometrycznych elementów skrawających glebę z zastosowaniem automatycznych systemów sterowania maszynami rolniczymi

Promotor: Prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko, dr h.c., prof. h.c.

Promotor pomocniczy: Dr inż. Roman Rogacki

1. Podstawa formalna recenzji

Podstawą formalną recenzji jest uchwała nr 4/III/11/2024 Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 2 grudnia 2024 roku oraz pismo nr DIM.075.288.2024 z dnia 3 grudnia 2024 roku.

Przedstawiona do recenzji rozprawa została napisana na Wydziale Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej. Badania zostały przeprowadzone w ramach Programu Doktorat Wdrożeniowy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach umowy nr DWD/4/22/2020. Otrzymałam komplet dokumentów niezbędnych do oceny rozprawy doktorskiej oraz stosowną umowę.

2. Charakterystyka pracy doktorskiej

Tematem pracy jest „Badanie cech geometrycznych elementów skrawających glebę z zastosowaniem automatycznych systemów sterowania maszynami rolniczymi”. Praca obejmuje 210 stron, zawiera 124 rysunki, 16 tabel i odniesienia do 168 źródeł literaturowych. Układ pracy jest poprawny i obejmuje spis treści, streszczenie, wykaz akronimów, symboli i oznaczeń, wstęp, przegląd literatury, sześć rozdziałów opisujących prace badawcze doktoranta, wnioski końcowe, spis literatury, rysunków oraz tabel.

Przegląd literatury zawarty w rozdziale 2. rozpoczyna opis czynników, które determinują podejście do pielęgnacji upraw. Doktorant zwrócił uwagę na fakt, że czynniki polityczno-środowiskowe (szczególnie polityka Unii Europejskiej, w tym Europejski Zielony Ład),

społeczno-ekonomiczne i technologiczne sprzyjają rozwojowi technik mechanicznego pielienia. Zarówno uwarunkowania prawne jak i oczekiwania konsumentów powodują potrzebę zmniejszenia ilości używanych w rolnictwie pestycydów. Jednocześnie konieczne jest utrzymanie wysokich plonów, co wymaga zwalczania chwastów w uprawach. Autor opisał także podział gleb w odniesieniu do oporów skrawania a podrozdział 2.2. wprowadza tematykę erozji wodnej gleb, która ma swoje odzwierciedlenie w projekcie urządzenia do pielienia mechanicznego. W podrozdziale 2.3. przedstawiono metody pielęgnacji upraw rządowych. Doktorant opisał metody mechaniczne na tle innych metod analizując ich wady i zalety oraz przedstawił specyfikę narzędzi do pielienia mechanicznego w kontekście ich budowy i rozkładu sił działających na te narzędzia. W podrozdziale 2.4. doktorant przedstawił metody wyznaczania obciążeń narzędzi, zarówno teoretyczne jak i numeryczne oraz eksperymentalne, wykorzystane w badaniach w ramach pracy. W rozdziale 3. doktorant uzasadnił podjęcie tematu, wskazał na lukę badawczą, która uzasadnia przeprowadzenie badań, sformułował cele pracy i hipotezy badawcze. Elementem niezbędnym do wykonania badań zaprojektowanego narzędzia do pielienia mechanicznego było eksperymentalne wyznaczenie jego obciążeń. W tym celu doktorant opracował czujnik, którego budowa i zasada działania zostały opisane w rozdziale 4. Doktorant przeprowadził analizę istniejących rozwiązań takich czujników i zaproponował własne rozwiązanie. W podrozdziałach 4.2 – 4.5 pracy przedstawione zostały parametry wejściowe dla projektu, budowa i zasada działania czujnika oraz metoda jego kalibracji. Pewnym mankamentem jest brak zwymiarowanego rysunku opracowanego czujnika a także brak opisu zmiennych w równaniach opisanych jako 4.2. Rozdział 5. stanowi opis opracowanego narzędzia do pielienia mechanicznego. Rozdział ten zawiera niezbędne szczegóły dotyczące projektu – specyfika narzędzia, jego budowa i analiza naprężeń. Weryfikacja wytrzymałości konstrukcji mechatronicznego narzędzia opisana w podrozdziale 5.2. wydaje się jednym z ważniejszych etapów pracy nad opracowanym przez doktoranta rozwiązaniem. Szczególnie, że doktorant deklaruje iż prowadzone iteracyjnie analizy wytrzymałościowe wpływały na zmiany ostatecznej konstrukcji urządzenia. Niestety ten etap prac nie został szerzej opisany. W rozdziale 6. doktorant zaprezentował ciekawy pomysł na dodatkową funkcjonalność narzędzia. Polega on na wprowadzeniu dodatkowego oscylacyjnego ruchu narzędzia w celu tworzenia niewielkich wzniesień na powierzchni pola, które mogą przeciwdziałać erozji wodnej gleby. Jest to bardzo ciekawy i innowacyjny element pracy. Rozdział 7. przedstawia wyniki badań, których przedmiotem jest mechatroniczna sekcja pielęgnująca z narzędziem o zmiennej geometrii zamontowana na robocie polowym. Badania przeprowadzono w dwóch konfiguracjach zamontowania narzędzi. W ramach badań oceniano obciążenia (siły i momenty rozpatrywane w osiach x, y i z), jakim poddawane jest narzędzie pielęgnujące w czasie normalnego użytkowania. Badania wykonano w warunkach polowych. W fazie początkowej dokonano pomiarów oporów penetracji gleby oraz wilgotności, co jest działaniem prawidłowym ponieważ parametry te mają bezpośredni wpływ na badane obciążenia. Niestety, badania zostały wykonane tylko na jednym polu, w warunkach niskiej wilgotności i dużej zwięzłości. Następnie mierzono obciążenia narzędzi w funkcji czasu, w funkcji prędkości jazdy i w funkcji kątów narzędzia mechatronicznego. Podrozdział 7.7. stanowi szczegółową

analizę porównawczą obciążeń narzędzi pielących w wersji mechatronicznej, opracowanej w ramach badań oraz w wersji standardowej. Jest to ważny element pracy w kontekście jej celu. Analizie poddano 43 przypadki, co oczywiście nie wyczerpuje możliwości stanowiska badawczego. Wprowadzenie parametru określonego jako współczynnik redukcji obciążenia w odniesieniu do sił i momentów pozwoliło na obiektywną ocenę redukcji obciążeń narzędzia pielącego w wyniku zmiany kątów ustawienia elementów narzędzia. Z przedstawionych danych wynika, że możliwe jest znaczące zredukowanie obciążeń, zarówno w kontekście sił jak i momentów. Rozdział 8. przedstawia dwie możliwości wykorzystania narzędzia pielącego o zmiennej geometrii – z doбором nastaw kątów na podstawie wskazań czujników oraz w wyniku decyzji z nadrzędnego systemu sterowania. Rozdział 9. stanowi opis prac wdrożeniowych i zawiera opracowanie dotyczące szacunkowej wartości rynku rolniczych maszyn uprawowych i trendów dotyczących tego rynku oraz analizę konkurencyjności. Sytuacja na rynku oraz analiza czynników konkurencyjności w odniesieniu do Sieci Badawczej Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny wskazują na to, że opracowane rozwiązanie może spotkać się z zainteresowaniem na rynku. Doktorant przedstawił koncepcję wdrożenia polegającą na podpisywaniu umów licencyjnych na produkcję opracowanego urządzenia przez podmioty zewnętrzne. Przeprowadzona analiza SWOT wskazała, że dalsze działania związane z wdrożeniem mechatronicznej sekcji pielącej powinny opierać się na strategii agresywnej. Koncepcja wdrożenia uniemożliwiła również wstępną wycenę proponowanego rozwiązania. Możliwe było jednak sformułowanie specyfikacji opracowanego rozwiązania i zaplanowanie jego rozwoju. Doktorant wykazał także, że opracowane urządzenie wpisuje się w politykę zrównoważonego rozwoju. W rozdziale 10. zawierającym wnioski doktorant odniósł się do hipotez postawionych w pracy, elementów poznawczych i utylitarnych oraz kierunków dalszych badań.

3. Cel pracy

Doktorant sformułował cele pracy – główny i szczegółowy cel badawczy oraz cele wdrożeniowe a także dwie hipotezy badawcze. Jako główny cel badawczy pracy autor wskazał opracowanie mechatronicznej sekcji pielniaka zmniejszającej energochłonność wykonywanego zabiegu agrotechnicznego. Cele szczegółowe konieczne do osiągnięcia celu głównego zostały przedstawione jako opracowanie metody ciągłej analizy kluczowych parametrów związanych z obróbką gleby podczas pielienia mechanicznego oraz porównanie, na podstawie zaproponowanego wskaźnika energochłonności, procesu pielienia mechanicznego za pomocą opracowanej sekcji mechatronicznej w odniesieniu do energochłonności zabiegu pielienia realizowanego za pomocą konwencjonalnej sekcji pielącej. Cele wdrożeniowe zostały określone jako zachowanie kompatybilności opracowanego urządzenia z maszynami i pojazdami rolniczymi, zgodność z założeniami polityki zrównoważonego rozwoju oraz ochrona prawna rozwiązania.

Uwzględniając analizę źródeł literaturowych i planowany zakres badań sformułowano następujące hipotezy badawcze:

H1: Zaprojektowana w ramach doktoratu wdrożeniowego konstrukcja narzędzia połączona z elementami automatyki w pielniku mechanicznym umożliwi zmianę geometrii narzędzi skrawających glebę przy prędkościach pielienia do 10 km/h w celu zmniejszenia oporów skrawania o 10% przy zachowaniu poprawności wykonania zabiegu agrotechnicznego.

H2: Odpowiednia kinematyka sekcji pielącej w połączeniu z czujnikami oraz elementami wykonawczymi umożliwi kształtowanie powierzchni gleby na terenach pofałdowanych w celu zmniejszenia erozji wodnej pól uprawnych.

Zarówno cele pracy jak i hipotezy zostały sformułowane prawidłowo.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne o charakterze merytorycznym

Przedstawiona do oceny praca jest doktoratem wdrożeniowym. Celem tego typu prac jest osiągnięcie celu wdrożeniowego i z tego powodu możliwy jest do zaakceptowania brak pewnych elementów właściwych dla opracowań naukowych, jak np. analizy statystyczne, które powinny zostać przeprowadzone np. dla danych zaprezentowanych w podrozdziale 7.6. Należy docenić duże umiejętności inżynierskie doktoranta, które pozwoliły mu skonstruować i wykonać skomplikowane urządzenia a także jego dociekliwość i gotowość do przeprowadzenia szeregu badań, zarówno symulacyjnych jak i w warunkach polowych. Doktorant wykazał się dużą kreatywnością a także umiejętnością analizy źródeł literaturowych, która pozwoliła mu ocenić aktualny stan wiedzy i wskazać lukę badawczą. Praca ma jednak kilka mankamentów natury merytorycznej, które zostaną opisane poniżej i będą źródłem pytań, które chciałabym zadać doktorantowi.

- Na końcu podrozdziału 2.2.3 doktorant powołuje się na raport firmy Tractica. Jednak jest to prognoza do roku 2025. Czy doktorant sprawdził na ile trafna była ta prognoza?

- Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób kąt wzniosu narzędzia jest zależny od wilgotności i typu gleby (tabela 9).

- W podrozdziale 7.4. doktorant odwołuje się do wykonanych prób i pokazuje wyniki dla prób od 2 do 6. W pracy nie znalazło się jednak zestawienie parametrów charakteryzujących te próby. Znacząco utrudnia to analizę przedstawionych wyników. Proszę o przedstawienie takiego zestawienia, np. w formie tabelarycznej w czasie obrony.

- W podrozdziale 7.5. doktorant podał informację, że przeprowadzonych zostało 26 i 12 prób. Czy to są próby o tych samych parametrach co w podrozdziale 7.4.? Dodatkowo, proszę o dokładne wyjaśnienie wyników przedstawionych na wykresach 7.28 – 7.31. W szczególności, proszę odnieść się do faktu, że dla podobnych prędkości zaobserwowano znaczny rozrzut wartości sił i momentów.

- W podrozdziale 7.6. doktorant przedstawił wyniki obciążeń w funkcji kątów narzędzia. Przy jakiej prędkości jazdy zostały wykonane te pomiary? W jaki sposób została ona dobrana?

- Hipoteza H1 zakłada, że opracowane rozwiązanie umożliwi zmniejszenie oporów skrawania o 10% przy prędkościach pielenia do 10 km/h. Czy Doktorant wykonał badania polowe przy prędkościach dochodzących do 10 km/h?

Dodatkowo prosiłabym o odniesienie się do następujących kwestii:

- Proszę o obszerniejsze wyjaśnienie dlaczego doktorant uznał, że dla określenia obciążeń badanych narzędzi konieczne było opracowanie autorskiego czujnika. W pracy jest tylko wzmianka o tym, że po analizie źródeł literaturowych została podjęta taka decyzja.

- Proszę o wyjaśnienie dlaczego jako zakres pomiarowy czujnika dla momentów doktorant przyjął 250 Nm. W tekście znajduje się tylko uzasadnienie przyjętego zakresu dla sił.

- Opisując problematykę naukową i lukę badawczą w podrozdziale 3.2. doktorant stwierdza, że koniecznym było opracowanie metodyki badawczej urządzenia. Proszę o wyjaśnienie, co doktorant rozumie przez metodykę badawczą urządzenia.

- W podrozdziale 5.2. pracy doktorant stwierdza, że opracowane urządzenie posiada rozwiązania konstrukcyjne zapewniające możliwość łatwego wpływania na parametry geometryczne oraz zastosowanie dodatkowych sensorów, które mogą zostać przeprojektowane. W jaki sposób wpływa to na wdrożenie rozwiązania? Podobne wątpliwości budzi urządzenie przedstawione na rysunku 9.8. Wydaje się być mało odporne na uszkodzenia mechaniczne w czasie pracy. Czy doktorant planuje jeszcze optymalizację konstrukcji przed wdrożeniem?

5. Uwagi edytorskie

W tekście pracy doktorant popełnił dość dużą liczbę błędów językowych i edytorskich. Niektóre z tych błędów, jak np. niekompletne podpisy pod rysunkami lub ich legendy utrudniają analizę tekstu pracy doktorskiej. Poniżej przytaczam tylko część z nich.

- Strona 5: błędna numeracja podrozdziałów, po podrozdziale 2.2. ponownie pojawia się podrozdział 2.1.

- W całym tekście doktorant stosuje nieprawidłowe językowo odwołania do tabel (w mianowniku, bez odpowiedniej odmiany), np. strona 25 „Przedstawiono go w *tabela 1.*”

- Strona 26: „Typ gleby ma ogromne znaczenie na wartości generowanych obciążeń.”

- Na rysunkach 2.1. i 2.2. opisy są wykonane w języku angielskim zamiast w języku polskim.

- Strona 29: jest „Oznaczone są swoimi naprężeniami, σ i $+/ \tau$.” zamiast „Oznaczone są swoimi naprężeniami, σ i $+/ - \tau$.”

- Strona 32: „Bernacki wskazuje również” – brak odniesienia do źródła.

- Strona 43: „Na proces wpływa wiele zmiennych takich jak moc elektryczna i prędkość aplikacji, morfologia chwastów oraz specyficzne warunki środowiskowe na danym terenie, może wpływać na użycie elektrycznego zwalczania chwastów i jego skuteczność.”
- Strona 56: na rysunku 2.18. brak podpisu do części b rysunku.
- Strona 60: „Natomiast praca narzędziami o tych kątach większych jak 35° na glebach zwięzłych z łatwością przecinały chwasty.”
- Rysunki doktorant ponumerował zgodnie z numeracją rozdziałów, natomiast nie zastosował tej samej konwencji w przypadku tabel. Utrudnia to nieco odnalezienie właściwej tabeli w tekście.
- Strona 76: „Autorzy artykułu zastosowali” - brak odniesienia do źródła więc nie można zweryfikować tej informacji. Podobna sytuacja powtarza się na stronie 79 i 80.
- Strona 83: brak legendy do ponumerowanych elementów na rysunku 2.37.
- Strona 86: „Ponadto jest ona zależna ...” – nie sposób domyślić się czym jest „ona”.
- Strona 88: „porównanie (wyznaczenie wskaźnika) energochłonności procesu pielenia mechanicznego za pomocą opracowaną sekcji mechatronicznej”
- Strona 115: elementy na rysunku 5.1. są ponumerowane począwszy od numeru 5 zamiast od numeru 1.
- Strona 134: jest „obciążeń wstępujących” zamiast „obciążeń występujących”.
- Strona 165: określenie „spadek o -2%” jest niezbyt fortunne, lepiej byłoby użyć „spadek o 2%”

Sformułowane w recenzji uwagi krytyczne i dyskusyjne a także uwagi edytorskie nie obniżają wartości merytorycznej pracy jako doktoratu wdrożeniowego.

6. Wniosek końcowy

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Michała Zawady jest cennym opracowaniem, w którym potwierdzono główne tezy pracy i rozwiązano problem wdrożeniowy. Doktorant wykazał się znajomością warsztatu badawczego, umiejętnością analizy doniesień literaturowych i dobrym planowaniem eksperymentu. Doktorant potrafił prawidłowo dobrać metody analizy danych i przedstawić wyniki badań w formie monografii. Innowacyjne rozwiązanie przedstawione w pracy ma charakter aplikacyjny i należy podkreślić, że rozwiązania oraz koncepcje przedstawione w rozprawie są przedmiotem zgłoszenia patentowego złożonego do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej. Istotnym elementem pracy jest przeprowadzenie badań w warunkach polowych, choć w ograniczonym zakresie jeśli chodzi o typ gleby, jej wilgotność i parametry mechaniczne. Całość pracy wzbogacono dokumentacją graficzną i fotograficzną, która jest obszerna i wartościowa oraz podnosi walory estetyczne pracy. Tematyka i zakres rozprawy doktorskiej są związane z

ważnym problemem, który dotyczy optymalizacji procesu pielenia mechanicznego. Ma to duże znaczenie w kontekście działań na rzecz rolnictwa ekologicznego i przyjaznego klimatycznie. Problematyka przeprowadzonych badań mieści się w dziedzinie nauk inżynierijsko-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Biorąc pod uwagę informacje zaprezentowane powyżej stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Michała Zawady pt. „Badanie cech geometrycznych elementów skrawających glebę z zastosowaniem automatycznych systemów sterowania maszynami rolniczymi” spełnia wszystkie wymagania określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 roku poz. 742 ze zm.) stawiane rozprawom doktorskim. Dlatego wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Zawady i dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej.

dr hab. inż. Katarzyna Pentoś, prof. uczelni

