



Poznań, 20. 01. 2025 r.

Prof. dr hab. inż. Czesław Rzeźnik
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. Michała Zawady

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

Podstawa opracowania recenzji: pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr hab. Inż. Bartosza Gapińskiego prof. PP z dnia 3.12.2024 oraz umowa o dzieło.

1. Ogólna charakterystyka pracy

Rozprawa została wykonana na Wydziale Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej w ramach Programu Doktorat Wdrożeniowy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2020 – 2024, umowa nr DWD/4/23/2020.

Opiekunami pracy są prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko prof. h. c. – promotor oraz dr inż. Roman Rogacki – promotor pomocniczy. Praca składa się z 210 stron maszynopisu, 122 rysunków, 16 tabel i spisu literatury zawierającego 169 pozycji.

2. Ocena rozprawy

Procesy technologiczne w rolnictwie realizowane są z wykorzystaniem różnorodnych maszyn, pracujących w dynamicznie zmieniających się warunkach. Warunki te mają charakter losowy w funkcji czasu, obciążeń, właściwości obrabianych materiałów itp. W związku z tym procesy są słabo ustrukturalizowane i trudne do naukowego opisu. Działania podejmowane są w dwóch kierunkach.

Pierwszy, to stabilizacja warunków i parametrów procesów. Osiąga się ją przez wyrównywanie i odkamienianie pól, zwiększanie ich powierzchni, irygację, uprawę pasową (uproszczoną) itp. Wyhodowano łatwiejsze do zbioru odmiany zbóż o krótkiej todydze odporne na wyleganie, niskie drzewa o równo dojrzewających owocach, co upraszcza i ułatwia procesy uprawy gleby, pielęgnacji roślin, zbioru plonów, zmniejsza się energochłonność, pracochłonność, degradacja środowiska naturalnego itp.

Drugi kierunek obejmuje dostosowanie maszyn do ciągłego reagowania na zmieniające się warunki realizacji procesów technologicznych w rolnictwie i potrzeby roślin. Znaczącym osiągnięciem w tym obszarze jest wprowadzanie rolnictwa precyzyjnego polegającego na sterowaniu maszynami z wykorzystaniem danych pochodzących z map aplikacyjnych, które zawierają szczegółowe informacje o

warunkach realizacji procesów. Pozwala to na precyzyjne dostosowanie ich nastaw do warunków na polu i potrzeb roślin w sposób ciągły.

Postępuje automatyzacja i autonomizacja wielu procesów. Wprowadzane są roboty udojowe, roboty do zbioru owoców, autonomiczne maszyny rolnicze itp. Wiele problemów naukowych jest rozwiązywanych z wykorzystaniem metod inżynierii mechanicznej, w tym mechatroniki, których wyniki prowadzą do praktycznych rozwiązań. Trafnie dostrzega to Doktorant i w tym obszarze realizuje rozprawę doktorską.

W rozdziale 1 zamieszczono genezę pracy, jej zakres, uzasadniono wybór tematu oraz wskazano jego atrakcyjność komercyjną. Jest to zwięzłe i w pełni wystarczające wprowadzenie czytelnika w tematykę rozprawy.

Rozdział 2, to analiza stanu zagadnienia w świetle literatury. Obejmuje on 70 stron co stanowi około 40% z ogólnej liczby 180 stron merytorycznych rozprawy. Taką objętość uzasadnia tematyka rozprawy, w której do procesów rolniczych zastosowano inżynierię mechaniczną, co wymaga znajomości szeroko pojętych zagadnień rolniczych i technicznych oraz ich wzajemnych relacji. Analizę Autor rozpoczyna od czynników społeczno-politycznych, środowiskowych a następnie omawia aspekty społeczno-gospodarcze, co jest istotne ze względu na wdrożeniowy charakter pracy. Zamieszcza charakterystykę gleb i ich właściwości, jako środowiska pracy projektowanego narzędzia. Kolejne analizy obejmują agrotechniczne metody pielęgnacji upraw oraz maszyny i narzędzia do ich realizacji. Omawia i ocenia metody wyznaczania obciążeń narzędzi pracujących w glebie, które pozwalają na wyznaczenie parametrów geometrycznych i na tej podstawie opracowanie ich konstrukcji. Prezentowany przegląd obejmuje wartościowe i aktualne pozycje literatury (dwie współautorskie prace Doktoranta), na podstawie, których wykazał się głęboką znajomością współczesnego rolnictwa, stosowanych w nim technologii, tendencji rozwojowych w zakresie mechanizacji oraz automatyzacji itp.

W podsumowaniu Autor pisze „Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury stwierdza jednoznacznie celowość projektowania narzędzia zmieniającego geometrię. Ponadto nie stwierdzono, żadnych podobnych rozwiązań w zakresie narzędzia adaptującego się do warunków polowych...”

Analiza piśmiennictwa pozwoliła Doktorantowi na sformułowanie problemu naukowego i celu pracy.

W pełni autorską i najważniejszą część rozprawy doktorskiej zawiera rozdział 3. Problem badawczy przedstawiony na str. 86 w brzmieniu „Główna problematyka naukowa tematu doktoratu dotyczy przebadania zaprojektowanej mechatronicznej sekcji pielącej wyposażonej w narzędzie o zmiennej geometrii elementów skrawających glebę w celu wykazania różnic pomiędzy narzędziem konwencjonalnym a zaproponowanym w ramach doktoratu narzędziem mechatronicznym”. Tak sformułowany problem ma charakter naukowy i może stanowić temat pracy doktorskiej. Dodatkowo podjęcie badań z tego zakresu uzasadnia fakt, że procesy uprawy gleby są bardzo energochłonne i

ed

ewentualne jej ograniczenie ma duże znaczenie praktyczne. Aby skutecznie rozwiązać postawiony problem naukowy Autor wytycza cele cząstkowe i formułuje hipotezy pracy.

W oparciu o studia literaturowe i własne analizy Autor dochodzi do wniosku, że rozwiązanie problemu powinno nastąpić na drodze badań empirycznych. Działanie to jest w pełni uzasadnione, ponieważ w literaturze brak dostatecznie dokładnych matematycznych modeli pozwalających na opis dynamicznych procesów uprawy gleby.

Rozdziały 4, 5, 6, 7 i 8 zawierają szczegółowy opis badań empirycznych, obejmujących opracowanie i wykonanie aparatury badawczej, konstrukcję mechatronicznej sekcji pielącej oraz jej badania. Tu Autor wykazał się dobrym przygotowaniem merytorycznym i pomysłowością w zakresie budowy i zastosowań nowoczesnej aparatury naukowej, co stanowi istotną umiejętność potrzebną w pracy naukowej.

Konstrukcja i wykonanie mechatronicznej sekcji pielącej, to sprawdzian umiejętności inżynierskich Autora. Spełnia ona szereg założeń, które wymieniono na str. 113. Są to warunki konieczne, aby narzędzie miało możliwość automatycznego regulowania swojej geometrii oraz parametrów odpowiednio do warunków pracy. Na podstawie literatury i własnych przemyśleń Autor wykazał konieczność regulowania dwóch kątów ostrzy skrawających, tj. kąta skrawania α oraz kątów pochylenia ostrzy pielących β . Ważną cechą narzędzia jest możliwość agregowania z ciągnikami rolniczymi i autonomicznymi robotami polowymi.

W celu przeprowadzenia badań Doktorant skonstruował odpowiedni czujnik, dokonał jego kalibracji oraz zestawiał niezbędną aparaturę naukową. Następnie wykonał pomiary porównawcze obciążeń mechatronicznej sekcji pielącej i tradycyjnej z wykorzystaniem autonomicznego robota polowego firmy Unia. Wyniki badań porównawczych wykazują, że autorska, mechatroniczna sekcja pieląca zmniejsza obciążenia o co najmniej 23% w porównaniu z tradycyjną. Tym samym została pozytywnie zweryfikowana hipoteza pracy, w której zakładano zmniejszenie oporów tylko o 10% i zrealizowany został jej cel. Na uwagę zasługuje możliwość oscylacyjnego ruchu skonstruowanego narzędzia, które tworzy wtedy niewielkie wzniesienia ograniczające erozję wodną gleby. Ten pomysł Autora nie był przedmiotem badań w tej pracy, ale kryje w sobie duży potencjał poznawczy i praktyczny.

Przygotowanie badań empirycznych, ich metodykę, przeprowadzenie oraz otrzymane wyniki oceniam pozytywnie.

W rozdziale 8 przedstawiono praktyczne możliwości wykorzystania uzyskanych w rozprawie wyników badań i tu Doktorant wskazuje dwa możliwe podejścia.

Pierwsze, to praca narzędzia i dobór jego nastaw na podstawie wskazań czujników zamontowanych lokalnie na maszynie w czasie rzeczywistym, co pozwoli na bardzo precyzyjne nastawy narzędzia odpowiednio do warunków, szczególnie wilgotności gleby, która znacząco wpływa na opory.

Drugie zakłada współpracę z systemami rolnictwa precyzyjnego, które wykorzystuje do sterowania pracą maszyn szczegółowe mapy pól, zawierające informacje o typie

gleby, jej zasobności, ukształtowaniu terenu, wilgotności itp. Informacje te, mogą być wykorzystane do sterowania opracowanego w rozprawie narzędzia mechatronicznego. Uzyskane w pracy wyniki badań mają duży potencjał praktycznego wykorzystania. Zastosowanie narzędzi mechatronicznych w uprawie gleby jest nowatorskim podejściem i otwiera wiele możliwości poznawczych.

Rozdział 9 zawiera analizy dotyczące wdrożenia opracowanego w rozprawie narzędzia mechatronicznego. Podstawowe znaczenie ma ochrona patentowa narzędzia lub jego fragmentów, o której Autor wspomina. Model narzędzia opracowany w rozprawie wymaga dopracowania, wprowadzenia pewnych uproszczeń i następnie odpowiednich badań. Analizy przeprowadzone w rozdziale 9, chociaż mają charakter wstępny, są przeprowadzone właściwie i dają nadzieję na pozytywny finał.

W rozdziale 10 zamieszczono wnioski wynikające z realizacji pracy. Korespondują one z postawionym problemem naukowym, hipotezami i celami pracy. Są dosyć szczegółowe i podzielono je na: dotyczące hipotez pracy, poznawcze, utylitarne i kierunki dalszych badań. W sumie jest ich około 20. Moim zdaniem zbyt dużo. Wystarczyłyby tylko te odpowiadające na pytanie; co wynika z przeprowadzonych badań? Najważniejsze moim zdaniem są dwa wnioski. Jeden dotyczący mniejszych obciążeń opracowanego narzędzia w stosunku do tradycyjnego i tym samym pozytywna weryfikacja hipotezy pracy, co jest osiągnięciem naukowym. Drugi, to wniosek utylitarny dotyczący uproszczenia konstrukcji narzędzia.

Przedstawiona analiza rozprawy pozwala na sformułowanie jej ogólnej oceny. Podjęty temat pracy jest aktualny, ważny metodycznie, naukowo oraz praktycznie i został opracowany w sposób wyczerpujący. Na szczególne wyróżnienie zasługuje metodyka pracy, przeprowadzone badania i opracowanie wyników badań. Tu Doktorant wykazał się dobrą znajomością metod badawczych, aparatury pomiarowej oraz praktycznego ich zastosowania do złożonych procesów z pogranicza rolnictwa i inżynierii mechanicznej. Uzyskane wyniki badań mają wysoką wartość poznawczą i praktyczną. Wykazano, że podstawowy proces w rolnictwie, jakim jest uprawa gleby, można usprawnić, zmniejszyć jego energochłonność, zagrożenie dla środowiska naturalnego itp. korzystając z metod inżynierii mechanicznej. Narzędzie skonstruowane i zbadane w pracy zostało przygotowane do wdrożenia. Przeprowadzono analizy rynku maszyn rolniczych oraz wskazano warianty jego praktycznych zastosowań. Przyjęto model komercjalizacji jako udzielenie licencji na wyniki doktoratu wdrożeniowego.

Na podstawie lektury pracy stwierdzam, że Doktorant jest przygotowany do prowadzenia samodzielnych badań naukowych w zakresie inżynierii mechanicznej i ich praktycznych zastosowań. Przemawiają za tym następujące fakty:

- W rozprawie dostrzeżono, sformułowano i rozwiązano problem naukowy o dużym znaczeniu metodycznym, poznawczym i praktycznym;
- Zastosowano do tego celu właściwe metody, w tym oryginalne pomysły Autora;
- W oparciu o uzyskane wyniki zostały pozytywnie zweryfikowane hipotezy i tym samym zrealizowano cel pracy.

3. Uwagi dyskusyjne i szczegółowe

Lektura rozprawy rodzi pewne problemy dyskusyjne, które wymagają omówienia i wyjaśnień.

Skonstruowany i badany model narzędzia pozwala na sterowanie jego parametrami geometrycznymi, co wymaga ciągłego pomiaru obciążeń. Sprawia to, że jest on dosyć złożony. Wyniki badań wskazują, że najbardziej istotny wpływ na wielkość generowanych obciążeń miały składowe M_y oraz F_z (str.187). Tu się rodzi się pytanie: czy dla celów komercyjnych można ograniczyć liczbę mierzonych i sterowanych parametrów geometrycznych narzędzia, bez istotnego wpływu na generowane obciążenia?

W jakim zakresie, w zależności od typu gleby i warunków pracy, wymagana jest zmiana parametrów geometrycznych narzędzia? Jeżeli wartości te są skupione w grupach charakterystycznych dla określonych typów gleb, to może produkować kilka wariantów narzędzi o stałej geometrii odpowiedniej dla danego typu gleb i odpowiednio je stosować. Konieczne jest wtedy nowe podejście do wymiany elementów roboczych. Może skorzystać z rozwiązań automatycznych stosowanych do wymiany narzędzi w robotach przemysłowych lub ograniczyć się tylko do wymiany dłuta o geometrii dostosowanej do warunków polowych, co sugeruje Autor na str. 187.

Druga hipoteza rozprawy (str. 88) dotyczy zmniejszenia erozji wodnej pól uprawnych poprzez zastosowanie odpowiedniej kinematyki sekcji pielącej. Jest to nowatorskie podejście do problemów erozji wodnej, które wymaga szerokich badań eksploatacyjnych. Czy badano wzrost obciążeń sekcji pielącej przy korzystaniu z tej funkcji i ile on wynosi?

Badania obciążeń narzędzi w funkcji czasu opisano w podrozdziale 7.4. Wynika z nich, że pomiary wykonywano w czasie 30 lub 45 sekund, co przy prędkości narzędzia około 8 km/h daje odcinek pomiarowy około 80 m. Czy nie był to zbyt krótki odcinek, aby ocenić wpływ zmian geometrii narzędzia na wartość obciążeń? Jaki był czas reakcji narzędzia na zmiany obciążenia?

Na str. 179 i 180, rys. 9.8 omawia Doktorant mechatroniczną sekcję pielącą oraz wymienia jej cechy funkcjonalne. Proszę o wyjaśnienie z czego się składa sekcja pieląca mająca masę do 90 kg i jaka jest masa skonstruowanego narzędzia mechatronicznego?

Skonstruowana i zbadana sekcja pieląca, pozwala na znaczące zmniejszenie jej obciążeń w porównaniu z tradycyjną. Analogiczne badania, wykorzystując opracowaną w rozprawie metodykę, można wykonać dla innych elementów narzędzi uprawowych zastępując tradycyjne o stałej geometrii, narzędziami mechatronicznymi o zmiennej geometrii, o czym wspomniano w pracy. Może to dać pozytywne wyniki. Jakie możliwości widzi Doktorant w tym obszarze korzystając z własnych doświadczeń?

Pod względem redakcyjnym praca wykonana jest poprawnie, drobne uchybienia zaznaczyłem w tekście. Oto kilka uwag natury ogólnej.

Tytuł rozprawy „Badanie cech geometrycznych elementów skrawających glebę z zastosowaniem automatycznych systemów sterowania maszynami rolniczymi” jest zbyt ogólny i nie koresponduje z jej zawartością. Moim zdaniem, adekwatnie zawartość pracy

opisuje cel sformułowany na str. 88 „Opracowanie mechatronicznej sekcji pielnika zmniejszającej energochłonność wykonywanego zabiegu agrotechnicznego”. Może tak zatytułować rozprawę?

Struktura rozprawy jest rozbudowana, składa się z 10 rozdziałów, kilkudziesięciu podrozdziałów, niekiedy dwa podrozdziały są na jednej stronie (str. 88 i 185). Jej przejrzystość można poprawić zmniejszając liczbę podrozdziałów, a rozdziały zamieszczać od nowej strony.

W pracy spotyka się drobne błędy tekstu, redakcyjne, które zaznaczyłem w tekście pracy, oto niektóre z nich.

- W podpisie rys. 2.18 na str. 56 nie zamieszczono informacji o jego części *b*;
- Część rysunków jest kopią wydruków z aparatury badawczej, a ich opisy są wykonane bardzo drobnym drukiem (rys.2.32, 2.34, 2.35 i inne), trudno je odczytać;
- Rysunki 5.5 i 5.6 na str. 118 i 119 mają taki sam podpis. Może zrezygnować z jednego lub dokładniej je opisać;
- W pracy spotyka się rysunki, które są kopią z prac źródłowych i wykonane zostały technikami właściwymi do czasu ich publikacji, należało poprawić ich jakość oraz ujednoczyć oznaczenia (rys. 2.17; 2.18; 2.19; 2.20 itp.). Przedstawione uwagi mają charakter dyskusyjny i porządkowy. Nie umniejszają mojej wysokiej oceny rozprawy. Można je wykorzystać w dalszych badaniach i publikacjach.

4. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa jest oryginalnym osiągnięciem naukowym mgra inż. Michała Zawady i stanowi znaczący wkład w rozwój inżynierii mechanicznej. Wyniki pracy zostały przygotowane do wdrożenia. Na podstawie dokonanych analiz stwierdzam, że rozprawa mgra inż. Michała Zawady pt. *„Badanie cech geometrycznych elementów skrawających glebę z zastosowaniem automatycznych systemów sterowania maszynami rolniczymi”*, spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy i może stanowić podstawę do nadania jej Autorowi stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie *Inżynieria mechaniczna* i tym samym być dopuszczona do publicznej obrony.

Zgodnie z Uchwałą Nr 7/IV/02/2023 Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 27 lutego 2023 r. wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgra inż. Michała Zawady pt. *„Badanie cech geometrycznych elementów skrawających glebę z zastosowaniem automatycznych systemów sterowania maszynami rolniczymi”*.

Uzasadnienie wniosku:

- Temat rozprawy obejmujący zastosowanie inżynierii mechanicznej w rolnictwie jest oryginalny poznawczo i metodycznie oraz bardzo ważny praktycznie;

- Doktorant opracował narzędzie do pielenia chwastów (zgłoszenie patentowe) i stosując autorską metodykę wykonał badania laboratoryjne oraz polowe potwierdzające jego przydatność praktyczną;
- Uzyskane wyniki mają wysoką wartość poznawczą oraz wskazują nowe obszary badań, obejmujące zastosowania narzędzi mechatronicznych w uprawie gleby;
- W rozprawie przygotowano strategię komercjalizacji polegającą na udzieleniu licencji na opracowane w ramach doktoratu narzędzie.

