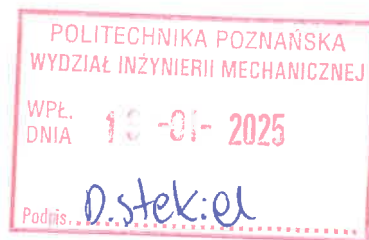


Prof. dr hab. inż. Paweł T. Sobczak

Wydział Inżynierii Produkcji

Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie



Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Sebastiana Szymczyka

pt. "Opracowanie i badania mechatronicznego rozpylacza opryskiwacza rolniczego o zmiennej charakterystyce oprysku"

1. Podstawa prawna sporządzenia recenzji

Recenzja została opracowana na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 1 grudnia 2025 roku nr 14/III/11/2025 w sprawie powierzenia funkcji recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Sebastiana Szymczyka. Podstawą wykonania recenzji był załączony maszynopis rozprawy. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko dr h.c., prof. h.c., a promotorem pomocniczym dr inż. Jacek Wojciechowski.

2. Formalna charakterystyka rozprawy doktorskiej.

Przedstawiona do recenzji rozprawa stanowi opracowanie naukowe o charakterze metodyczno-doświadczalnym, w której zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych oraz aplikacyjnych mechatronicznego rozpylacza rolniczego o zmiennej charakterystyce oprysku. Praca ma charakter poznawczy i aplikacyjny.

Dysertacja zawiera 142 ponumerowane strony, w tym 67 rysunków (ryc.) i 5 tabel. Całość została podzielona na 9 rozdziałów głównych, łącznie ze spisem piśmiennictwa. Układ pracy jest poprawny, a odpowiednio dobrany podział na podrozdziały pozwala na szybkie rozeznanie w strukturze pracy. Poszczególne rozdziały zawierają następującą ilość stron:

1. Wstęp - 6 stron,

2. Stan wiedzy i technologii - 22 strony,
3. Cel, zakres i teza pracy- 5 stron,
4. Projektowanie mechatronicznego rozpylacza - 20 stron,
5. Wyniki badań i analiza - 31 stron,
6. Koszty i analiza rynku - 16 stron,
7. Potencjał wdrożeniowy - 6 stron,
8. Podsumowanie i wnioski końcowe— 6 stron,
9. Bibliografia – 16 stron.

W rozprawie znajdują się dodatkowo rozdziały nienumerowane tj. „Streszczenie” (1 strona), „Wykaz akronimów, symboli i oznaczeń (1 strona), „Spis rysunków” (4 strony) i „Spis tabel” (1 strona). Rozprawa powstała w ramach programu „Doktorat Wdrożeniowy”.

W recenzowanej rozprawie brakuje klasycznego rozdziału, jakim jest „Materiał i metodyka badawcza”. Takie informacje znajdują się w treści rozprawy jednak są one porozrzucane po różnych rozdziałach pracy. Pomijając tą uwagę uważam, że recenzowana praca została zredagowana poprawnie pod względem formalnym – układu pracy, a sporadyczne usterki językowe (interpunkcja), nie wpływają na jej ocenę, zatem je pomijam.

3. Wybór tematu rozprawy doktorskiej, tezy badawcze, problem badawczy

Temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Sebastiana Szymańskiego dotyczy opracowania projektu oraz wykonanie rozpylacza opryskiwacza rolniczego o zmiennej charakterystyce oprysku. Autor bada wpływ kąta, ciśnienia oprysku oraz wysokości w systemie inteligentnego oprysku porównując go z powszechnie stosowanym opryskiem całościowym.

W rozprawie sformułowano cel badawczy i wdrożeniowy, w którym założono zwiększenie równomierności pokrycia powierzchni roślin oraz redukcji zużycia środków ochrony roślin względem rozwiązań standardowych. Wśród założeń celu wdrożeniowego było opracowanie kompletnego, modułowego systemu mechatronicznego zespołu rozpylającego, który będzie zgodny z założeniami europejskimi i zapewni redukcję, co najmniej 30% zużycia środków chemicznych w porównaniu z konwencjonalnymi metodami.

Do realizacji założonych celów Autor sformułował następującą tezę badawczą: „Zastosowanie opracowanej konstrukcji i algorytmu sterowania pracą mechatronicznego rozpylacza umożliwi dostosowanie się charakterystyki oprysku do uprawianej rośliny zmniejszając ilość stosowanego środka ochrony roślin przy zachowaniu wymaganej skuteczności.”

W związku z tak postawioną tezą i celami rozprawy sformułowano problem naukowy dysertacji polegający na relacji między postacią konstrukcyjną i funkcjonalną mechatronicznego zespołu rozpylającego o zmiennej charakterystyce oprysku, a jego cechami użytkowymi, tj. równomiernością pokrycia roślin oraz redukcją środków ochrony roślin.

Postawione założenia pracy oraz problem badawczy uważam za poprawnie sformułowany.

4. Szczegółowa analiza treści poszczególnych rozdziałów rozprawy.

We wstępie pracy Autor charakteryzuje aspekty związane z ochroną środowiska i zdrowia publicznego nawiązując do szeregu regulacji prawnych z tym związanych m.in. do Wspólnej Polityki Rolnej, Zielonego Ładu oraz strategii „od pola do stołu”. Opisując problemy jakościowe produkcji rolno-spożywczej płynnie przechodzi do rolnictwa precyzyjnego, czyli koncepcji Rolnictwo 4.0. Rozdział ten podzielony jest na 3 podrozdziały, w którym zawarty został również zakres pracy, którym jest opracowanie, budowa oraz badania mechatronicznego zespołu rozpylającego o zmiennej charakterystyce oprysku, przeznaczonego do realizacji precyzyjnych zabiegów chemicznej ochrony roślin w uprawach rzędowych. Podrozdział „Zakres pracy” stanowi skrócony opis całej rozprawy i mógłby dobrze pasować do streszczenia pracy. Właściwy zakres pracy został umieszczony w rozdziale 3.

Rozdział 2 zatytułowany „Stan wiedzy i technologii” został podzielony na 5 podrozdziałów i stanowi zebranie informacji n.t. różnych technologii oprysku w rolnictwie oraz metod ich oceny według obowiązujących rozporządzeń. Autor poprawnie wymienia najważniejsze parametry wpływające, na jakość oprysku t.j.: wielkość generowanych kropli, przepustowość, kąt rozpylania, typ konstrukcyjny, ciśnienie robocze oraz materiał wykonania. Następnie przechodzi do metod automatyzacji systemu opryskiwania opisując systemy oparte na technologii GPS w połączeniu z automatyczną kontrolą sekcji ASC. Jak Autor zauważył systemy takie pozwalają na zmniejszenie powierzchni objętej nadmiernym opryskiem. Kolejne modyfikacje technologii wprowadziły indywidualne sterowanie rozpylaczami i podział na kilka sekcji lub też regulację dawki poprzez zmianę ciśnienia w zależności od prędkości

opryskiwacza, czy też zmianę geometrii rozpylacza, co również przyczyniło się do kolejnej oszczędności oprysku. Doktorant w tym rozdziale odnosi się również do zmiennych warunków pogodowych podczas wykonywania oprysku polowego opisując technologie stosowania kurtyn powietrznych oraz do nierówności terenowych, które wpływają na wysokość belki opryskiwacza. Następnie Autor pracy charakteryzuje systemy wizyjne, które coraz powszechniej wchodzi do technologii oprysku tj. stosowanie czujników optycznych, zaawansowanych algorytmów AI, które mogą w czasie rzeczywistym identyfikować obecność chwastów lub objawy chorób roślin i dozować oprysk punktowy. Ogólnie zebrane informacje oraz przegląd badań oceniam pozytywnie, aczkolwiek **w rozdziale tym warto byłoby wspomnieć o technologii mechanicznego usuwania chwastów bez stosowania oprysków. Czy takie technologie są znane Autorowi?**

Kolejnym rozdziałem w pracy jest „Cel, zakres i teza pracy”. W tym rozdziale Pan mgr inż. Sebastian Szymczyk opierając się na zebranych informacjach z przeglądu literatury uzasadnia wybór tematu badawczego formułuje cel badawczy oraz cel wdrożeniowy pracy. Następnie stawia tezę badawczą i w odniesieniu do tej tezy stawia poprawnie sformułowany problem badawczy do rozwiązania. W sposób przejrzysty na rysunku 3.1 przedstawia ogólny schemat realizacji badań i wdrożenia.

W rozdziale 4 przedstawiono założenia projektowe mechatronicznego rozpylacza oprysku. Koncepcję rozwiązania oparto na tym, że oprysk powinien być wykonany we właściwym miejscu, z zachowaniem odpowiednich parametrów, takich jak wielkość kropli i równomierność oprysku. Autor pracy przyjmuje za podstawowy parametr wielkość kropeł cieczy, jednak w dalszych badaniach wielkość kropeł nie jest w żaden sposób mierzona. Scharakteryzowana jest wielkość kropeł w zależności od ciśnienia roboczego cieczy i definiowana, jako krople większe lub cięższe i krople drobne, ale Autor nie precyzuje ich wielkości. **Czy Doktorant potrafi określić, jakie wielkości kropeł uzyskiwał na swoim stanowisku?** Natomiast dużo uwagi poświęcono odpowiedniemu ukierunkowaniu płaszczyzny oprysku poprzez zmienność kąta obrotu głowicy. Ta zmienność parametru pozwala na szeroką gamę pozyskiwania danych, co uważam za trafne rozwiązanie. Zaprojektowane elementy wykonano w technologii druku 3D, dokładnie je charakteryzując na poszczególnych rysunkach. Do pracy stanowiska zaprojektowano osobno elektronikę w programie KiCad. Kluczowym

niewątpliwie rozwiązaniem był również dobór systemu wizyjnego, którego zadaniem było kierowanie opryskiem dokładnie tam, gdzie jest to wymagane.

Rozdział 5 zawiera zestawienie wyników i analizę z badań. W pierwszej kolejności Autor przedstawił wyniki uzyskane na etapie badań laboratoryjnych, aby następnie przejść do badań polowych. W obu przypadkach głównym mierzalnym parametrem była równomierność i skuteczność oprysku. W badaniach wykorzystano zaprojektowane w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny urządzenie do pomiaru równomierności oprysku. Ustalono zmienną wysokość oprysku na trzech poziomach tj. 30, 40 i 50cm oraz zmiennym kącie pochylenia, co 10° do maksymalnie 60° i stałym ciśnieniu roboczym 2 bary. Wyniki poprawnie przedstawiono w formie wykresów. Następnie zebrane dane przeliczono pod kątem stromości narastania i opadania oddzielnie analizując wysokość oprysku oraz kąt skręcenia płaszczyzny oprysku. Następnie takie badania przeniesiono do warunków polowych. Kluczowym staje się wybór punktów pomiarowych równomierności oprysku tj co do odległości 5m, 6m i kolejny ponownie 6m i co do wysokości 50, 30, 10 cm. **Powstaje pytanie dlaczego Doktorant przyjął takie punkty pomiarowe w badaniach polowych?** Badania polowe podzielno na dwa etapy i przeprowadzono je przy użyciu standardowego opryskiwacza polowego oraz zaprojektowanego mechatronicznego rozpylacza. W opisie wyników Doktorat przytacza dane literaturowe, co do wielkości kropel cieczy oprysku, ale w prezentowanych badaniach takich pomiarów nie przeprowadzono, nawet poprzez zmianę ciśnienia, które określono na poziomie 2 barów, a które w rzeczywistości różniło się i było nieco wyższe (tabela 5.2). Zebrane wyniki ze stopnia pokrycia wodoczułych papierków przedstawiono w formie wykresów, rozdzielając wyniki w zależności od prędkości przejazdu opryskiwacza, którą dobrano na poziomie 0,5 i 1 m s⁻¹. Rozdział 5 zawiera również podrozdział zatytułowany „Dyskusja wyników”, w którym Autor odnosi się do uzyskanych rezultatów i w większości przypadków analiza wyników jest trafna, jednak w opisie dotyczącym ciśnienia i wielkości kropel oprysku podaje, że „mogło to wpłynąć na wyniki pokrycia”. Jeżeli Autor przeprowadził takie badania to powinien podać formę twierdzącą takich rezultatów, a nie opisywać tych wyników w trybie przypuszczającym. W końcowej części dyskusji Doktorant potwierdza słuszność postawionej tezy badawczej.

Rozdział 6 zatytułowany „Koszty i analiza rynku” stanowi wartość dodaną pracy, która z pewnością powstała w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy” i stanowi przegląd

istniejących na rynku firm produkcyjnych z branży maszyn rolniczych i potencjalnych odbiorców programu. Doktorant w tym rozdziale podejmuje się wyceny opracowanego stanowiska analizę SWOT tej technologii.

Następny rozdział 7 pt. „Potencjał wdrożeniowy” również odnosi się do możliwości integracji rozwiązania z istniejącymi na rynku opryskiwaczami. Dodatkowo Autor przedstawia przystosowanie takiego rozwiązania poza rolnictwem wymieniając m.in. zastosowanie dla miejskich służb do utrzymania czystości, w kolejnictwie do usuwania roślinności z pokładów kolejowych, czy też w służbie utrzymania dróg i autostrad. Takie wykorzystanie wymagałoby jednak dodatkowego oprogramowania lub też i drobnej modyfikacji konstrukcyjnej.

Warto podkreślić, że opracowany projekt został zgłoszony do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej i został zarejestrowany pod numerem P.452018.

Rozdział 8 stanowią wnioski i podsumowanie badań. W tym rozdziale Autor formułuje wnioski dotyczące tezy pracy, poznawcze, użytkowe, dotyczące dalszych badań oraz wnioski wdrożeniowe. Uważam, że niektóre z nich można by połączyć ze sobą np. wnioski użytkowe i wdrożeniowe, czy też wnioski poznawcze i dotyczące dalszych badań. Pomijając te drobne uwagi uważam, że rozdział ten został bardzo dobrze opracowany i z przeprowadzonych badań wysunięto trafne wnioski. Założona na początku badań teza została potwierdzona.

Ostatni rozdział to "Bibliografia", w którym Pan mgr inż. Sebastian Szymczyk zebrał 155 pozycji literatury, w tym monografie, periodyki w jez. polskim i angielskim. Dobór literatury jest adekwatny do tematyki i w pełni pokrywa zakres tematyczny pracy. Najstarsza pozycja pochodzi z roku 1994, a najnowsza z roku 2025, co świadczy o ciągłym śledzeniu badań z danego zakresu tematycznego przez Autora.

5. Merytoryczna ocena rozprawy.

Podjęty przez Autora temat badawczy dotyczący opracowania i przebadania mechatronicznego rozpylacza opryskiwacza rolniczego wpisuje się w tematykę inżynierii mechanicznej. Wprowadzenie nowych rozwiązań technologicznych, takich jak automatyzacja w zakresie inteligentnego oprysku przyczyniło się do zmniejszenia ilości stosowanych oprysków, ich dokładności i stopnia pokrycia, co w konsekwencji przyczynia się do poprawy środowiska naturalnego. Przeprowadzone badania polowe zostały porównane ze standardowymi metodami oprysku, wykazując zadawalające pokrycie opryskiem i redukcję

ilości oprysku. W ramach pracy doktorskiej zaprojektowano od podstaw stanowisko badawcze, przeprowadzono na nim badania i porównano je ze standardowymi metodami. Świadczy to o profesjonalnym podejściu do tematyki doktoratu, które w pełni zostało zrealizowane. Wysoko oceniam również rozdział 7, w którym Autor przybliżył możliwości wdrożenia stanowiska nie tylko dla rolnictwa, ale również po drobnej modyfikacji dla innych gałęzi przemysłu m. in.: drogowego, kolejowego.

6. Syntetyczna ocena pracy.

Opiniowana praca naukowa Pana mgr inż. Sebastiana Szymczyka, jako przedmiot rozprawy doktorskiej nie budzi zastrzeżeń pod względem merytorycznym i formalnym. Praca wykonana została z użyciem nowoczesnych technik badawczych umożliwiających osiągnięcie założonego celu. Przyjęty w rozprawie sposób prezentowania rozważań jest poprawny. Rozważania są prowadzone konsekwentnie, a treść rozprawy jest ułożona we właściwej kolejności.

Reasumując stwierdzam, że:

- tytuł rozprawy został sformułowany poprawnie, a treść zawarta w opracowaniu jest odpowiednia,
- drobne błędy edytorskie w pracy nie wpływają na końcową ocenę pracy, mogą natomiast posłużyć do dalszych publikacji Autora,
- uwagi krytyczne i dyskusyjne pozostawiam do wyjaśnienia podczas obrony pracy,
- wyniki badań i analiz mogą mieć istotne znaczenie praktyczne,
- wiarygodność wyników badań, analiz oraz interpretacji - nie budzą zastrzeżeń,
- dobór źródeł bibliograficznych jest zgodny profilowo i gatunkowo z tematem i zakresem pracy,
- praca ma charakter badawczy i utylitarny.

7. Wniosek końcowy.

Mając na uwadze złożony charakter problemów dotyczących zagadnień analizy parametrów oprysku i jego jakości, poczynawszy od założeń projektowych, a kończąc na analizie potencjału wdrożeniowego uznaję, że praca doktorska Pana mgr inż. Sebastiana Szymczyka wnosi oryginalny wkład naukowy, szczególnie istotny dla praktyki przemysłowej w obszarze

rolnictwa zrównoważonego. Uzyskane rezultaty mają wartości zarówno poznawcze jak i użytkowe.

Biorąc pod uwagę powyższe uważam, że opiniowana dysertacja Pana mgr inż. Sebastiana Szymczyka pt. "Opracowanie i badania mechatronicznego rozpylacza opryskiwacza rolniczego o zmiennej charakterystyce oprysku" spełnia wymagania określone w art. 187 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm) i może być podstawą do nadania stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o jej dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. dr hab. inż. Paweł Sobczak

Lublin, dnia 2.01.2026 r.