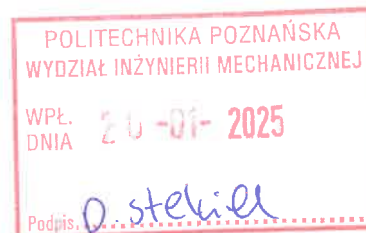


prof. UPP dr hab. inż. Florian Adamczyk
Katedra Inżynierii Biosystemów
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Poznań, 23.01.2026 r.



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Sebastiana Szymczyka pt. *„Opracowanie i badania mechatronicznego rozpylacza opryskiwacza rolniczego o zmiennej charakterystyce oprysku”* wykonanej pod kierunkiem promotora prof. dr. hab. inż. Stanisława Legutki, dr. h.c., prof. h.c. oraz promotora pomocniczego dr. inż. Jacka Wojciechowskiego.

1. Podstawa formalna recenzji

Podstawę formalną niniejszej recenzji stanowi uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej nr 14/III/11/2025 z dnia 1 grudnia 2025 r. powołująca moją osobę na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. inż. Sebastiana Szymczyka. Recenzja została opracowana na podstawie pisma nr DIM.075.293.2025 z dnia 4 grudnia 2025 r. Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr. hab. inż. Bartosza Gapińskiego, prof. PP oraz dostarczonego manuskryptu rozprawy doktorskiej zawierającego 142 strony maszynopisu.

2. Uzasadnienie podjęcia tematu (problematyka badawcza podjęta w pracy)

Produkcja rolnicza wiąże się z wieloma wyzwaniami. W przypadku produkcji roślinnej jednym z najwyższych jest utrzymanie czystości uprawy. Jest to szczególnie ważne w uprawach prowadzonych w systemach szerokorzędowych. Taki sposób prowadzenia uprawy roślin, np.: kukurydzy, buraków cukrowych czy soi powoduje pozostawienie znacznych wolnych przestrzeni pomiędzy rzędami roślin, które mogą być szybko zajęte przez chwasty. Rośliny uprawne mogą być również narażone na różne choroby, czy być niszczone przez mniejsze lub nieco większe szkodniki zaliczające się do fauny. Najefektywniejszym, z wielu względów, sposobem walki z chwastami i innymi wspomnianymi patogenami jest stosowanie oprysków. W tej formie może być również prowadzone nawożenie dolistne. Stosowanie do ochrony upraw herbicydów, fungicydów i insektycydów, określanych ogólnie jako pestycydy ogranicza straty w uprawach spowodowanych przez szkodniki, choroby oraz chwasty. Jednak pomimo korzyści ekonomicznych i agrotechnicznych, stosowanie pestycydów niesie ze sobą także negatywne konsekwencje środowiskowe, szczególnie dla gleby, będącej podstawowym elementem produkcji rolnej, a przez nią dla wód gruntowych i dalej do cieków wodnych. Z tych powodów obecne wymogi prawne ograniczają stosowanie syntetycznych Środków Ochrony Roślin (ś.o.r.) zarówno w odniesieniu do ilości dawkowania aktywnych substancji na jednostkę powierzchni jak i do samych substancji czynnych, jakie mogą zostać użyte do wykonania oprysku znacznie zmniejszając możliwości ich stosowania. Wycofywanie z produkcji i z możliwości stosowania kolejnych substancji czynnych ś.o.r. ma miejsce od wielu lat

na mocy kolejnych uregulowań prawnych wprowadzanych zarówno przez Komisję Europejską (KE) jak i ustawodawców krajowych. Regulacje te są nakierowane na prowadzenie walki z zachwaszczeniem plantacji, upraw metodami innymi niż chemiczne ś.o.r., zawierające czynne substancje syntetyczne. Wprowadzany obecnie przez KE program Europejski Zielony Ład przewiduje 50 % redukcję zużycia ś.o.r. do 2030 r. i 25 % wzrost udziału gruntów uprawianych w systemie rolnictwa ekologicznego do 2050 r. Założenia te są bardzo ambitne. Aby sprostać stawianym wymogom prawnym i jednocześnie utrzymać posiadany wolumen produkcji, rolnicy są zmuszani do korzystania z dostępnych na rynkach różnych chemicznych, ale i niechemicznych metod zwalczania chwastów. Wymagają one jednak prowadzenia prac dostosowujących ich działanie czy efektywność do zmiennych warunków środowiskowych, glebowych czy także kolejnych chronionych oraz zwalczanych roślin, mając także na uwadze ich kolejne stadia rozwojowe i wrażliwość na działanie. Jedną z dróg ograniczania ilości stosowanych oprysków, a w konsekwencji ilości dawkowanych substancji czynnych, jest prowadzenie oprysku punktowo na pojedyncze chwasty. Jest to możliwe w uprawach z szerokimi międzyrzędziami i oczywiście z użyciem opryskiwaczy posiadających zaawansowane, mechatroniczne systemy kontrolno-sterujące współpracujące z działającymi w czasie rzeczywistym systemami wizyjnej analizy roślin na plantacji oraz wyposażeniem ciągnika czy pojazdu samojezdnego w systemy pozycjonowania oparte o dane GPS. Trochę trudniejsze z uwagi na znacznie większą zwartość linii lub ładu roślin jest prowadzenie takich zabiegów nad rzędem roślin uprawnych czy w uprawach wąskorzędowych. Metody, techniki praktycznego i wysokoefektywnego oraz spełniającego przytoczone wymogi prawne prowadzenia oprysku, szczególnie nad rzędem roślin, nie są łatwe do praktycznej realizacji. Wymagają one ciągłego rozwoju zarówno w aspektach technicznych oraz technologicznych. Ten konieczny i ciągły rozwój wymaga oprócz oczywiście testów praktycznych, opracowania odpowiednich podstaw naukowych potwierdzających bądź wykluczających przyjmowane założenia. Badania naukowe mają także za zadanie wskazywać kierunki, zakresy dalszego rozwoju badanych metod, technologii, maszyn i urządzeń. W ten zakres badawczy wpisał się mgr inż. Sebastian Szymczyk wybierając za przedmiot swoich dociekań mechatronicznie sterowaną głowicę opryskową, wykorzystującą do swego działania systemy analizy obrazu, pozwalające na wydzielenie chwastów z ładu roślin uprawnych. Opracowana przez niego głowica opryskowa pozwala na prowadzenie oprysku z bardzo dużą precyzją w odniesieniu do szerokości wytworzonego wachlarza cieczy, jego dostosowania do opryskiwanych roślin, a w konsekwencji ograniczenia ilości aplikowanego ś.o.r. na jednostkę powierzchni, co łatwo przekłada się na ilość aplikowanej do atmosfery, na roślinę oraz do gleby substancji czynnej. W ten sposób wykonane na potrzeby przygotowania rozprawy badania wpisują się w zakres prac zmierzających do wypełnienia wymogów stawianych przez wspomniane zapisy programowe i przepisy prawne.

Oceniając problematykę naukową i badawczą jaka została zawarta w niniejszej dysertacji przedstawionej do recenzji, należy stwierdzić, że jest to praca naukowa, która wpisuje się w dziedzinę nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. W pewnych aspektach wykracza jednak poza tę dziedzinę nauki, wchodząc również w zakres nauk rolniczych. Z tego względu mogę stwierdzić, że jest to praca o charakterze interdyscyplinarnym.

3. Ocena formalna pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska pt. „*Opracowanie i badania mechatronicznego rozpylacza opryskiwacza rolniczego o zmiennej charakterystyce oprysku*” charakteryzuje się typowym układem dla prac badawczych i zawiera 142 strony tekstu. W dysertacji Doktorant zamieścił 67 rysunków i 5 tabel. Treść pracy składa się z 8 numerowanych rozdziałów zawierających podrozdziały, strony tytułowej, spisu treści, wykazu akronimów, symboli i oznaczeń, bibliografii, spisów rysunków, tabel oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Doktorant zastosował jednolitą numerację rozdziałów i podrozdziałów, przyjmując numerację do pierwszego rzędu.

Wyodrębnione główne rozdziały zajmują odpowiednio: *Wstęp* – 6 stron (4,22 %), *Stan wiedzy i technologii* – 22 strony (15,5 %), *Cel, zakres i teza pracy* – 5 stron (3,5 %), *Projektowanie mechatronicznego rozpylacza* – 20 stron (14,1 %), *Wyniki i analiza badań* – 31 stron (21,8 %), *Koszty i analiza rynku* – 16 stron (11,3 %), *Potencjał wdrożeniowy* – 6 stron (4,2 %), *Podsumowanie i wnioski końcowe* – 6 stron (4,2 %), *Bibliografia* – 16 stron (11,3 %), *Spisy treści, rysunków i tabel, wykaz oznaczeń* – 8 stron (5,6 %). Stałe części takie jak tytuł z afiliacją, streszczenia w językach polskim i angielskim zajmują 6 stron (4,2 %). Kolejność rozdziałów stanowi układ właściwy dla prac naukowych, a przedstawiona do oceny dysertacja posiada wszelkie elementy, które z formalnego punktu widzenia powinny wejść w skład rozprawy doktorskiej: przegląd piśmiennictwa, uzasadnienie konieczności podjęcia tematu, sformułowanie celu pracy oraz zakresu rozpatrywanych w niej zagadnień badawczych, opis sposobów ich rozwiązywania, wyniki badań oraz wnioski wysnute na podstawie efektów przeprowadzonych badań. Odczuwa się jednak brak osobnego rozdziału z zapisami przyjętej metodyki badań. Została ona rozproszona w kilku rozdziałach. Z uwagi na wdrożeniowy charakter efektów badań Autor zamieścił dwa rozdziały odnoszące się do możliwości wdrożenia do praktyki gospodarczej opracowanych przez niego rozwiązań technicznych i technologicznych.

Przyjęty w rozprawie sposób prezentowania rozważań jest ogólnie poprawny, a swoje dywagacje Doktorant prowadzi przy zachowaniu ogólnie właściwych proporcji w ujmowaniu poszczególnych elementów. Należy zwrócić uwagę na bogatą literaturę. Bibliografia zawiera 116 publikacji. Prac w języku angielskim wykazano 39, a języku polskim 126.

Praca napisana jest poprawnym językiem, z wykorzystaniem naukowej terminologii, w sposób logicznie spójny, chociaż zdarza się w niej wiele błędów redakcyjnych. Rozprawa pomimo tych uchybień jest napisana z należytą starannością. Świadczy to o przygotowaniu Doktoranta do interpretacji oraz omawiania uzyskanych wyników.

Tytuł dysertacji został sformułowany jednoznacznie, w sposób zrozumiały, z jednoczesnym zasygnalizowaniem podjętego problemu badawczego. Sugerowałbym jednak zamianę słowa „*badania*”, ponieważ praca doktorska jest efektem badań doktoranta, a to słowo w tytule wskazuje, że badacz nie zakończył jeszcze swoich prac badawczych. Także słowo „*rozpylacza*” jest tutaj oraz w całej treści pracy użyte niewłaściwie. Rozpylacz to element głowicy opryskowej, tworzący strugę cieczy, który atomizuje ciecz roboczą (środki ochrony roślin, nawozy) na drobne kropelki, zapewniając ich równomierne pokrycie i penetrację celu (np. łanu roślin), przy czym jego budowa (np. eżektorowa) i parametry (kąt strumienia, wielkość kropli, wydajność) wpływają na precyzję, skuteczność zabiegu. W przypadku tej pracy została opracowana mechatroniczna głowica opryskowa, która posiada wmontowany

jakiś rozpylacz. Opracowany układ mechatroniczny steruje jego parametrami ustawienia, a co za tym idzie, kształtem, wielkością oraz zakresem padania na rośliny wytworzonej strugi (wachlarza) cieczy. Analizując zakres pracy dochodzi się do wniosku, że Doktorant opracował kompletną mechatroniczną głowicę opryskową, której ważnym elementem jest wspomniany rozpylacz, którego jednak nie opracowywał. Odnoszenie się do niego jako podstawy pracy jest zbyt dużym uproszczeniem nazewnictwa. Wyraźnie o tym świadczy zdanie na str. 64 pracy, którym Autor używa określenia „rozpylacz” w dwóch wspomnianych znaczeniach: właściwym oraz upraszczającym zakres konstrukcji i wyposażenia opracowanego przez niego zespołu głowicy opryskowej. Zasygnalizowana tytułem badana problematyka oraz uczynienie jej przedmiotem pracy doktorskiej jest ambitnym i budzącym ciekawość poznawczą wyzwaniem, którego rozwiązanie może być podstawą do uzyskania stopnia naukowego doktora w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Pod względem językowym i formalnym recenzowana dysertacja zasługuje na pozytywną ocenę, choć mam kilka uwag i pytań, które zostały zamieszczone w treści recenzji.

Zasadnicze pytanie dotyczy powodów braku wyodrębnienia w tekście rozdziału zawierającego metodykę badań. Doktorant oczywiście zawarł w treści ocenianej dysertacji opisy stosowanej przez Niego metodyki oraz aparatury badawczej, ale te opisy są fragmentami rozdziałów dotyczących wyników prowadzonych badań oraz analiz przedwdrożeniowych.

Pojawia się także pytanie, dlaczego w spisie literatury nie zamieszczono przywołanego na stronach 15 i 119 zgłoszenia patentowego *P.452018*, którego, jak wynika z opisów, Doktorant jest jednym ze współautorów. W bibliografii mgr inż. Sebastian Szymczyk nie zamieścił także przywoływanych wielokrotnie w tekście dokumentów prawnych, norm krajowych i międzynarodowych, a wspominając o programach finansowych przez Komisję Europejską, nie podawał odnośnych dyrektyw, które je wprowadzały w życie, stąd pytanie o powody tych braków.

Doktorant powinien dołożyć większej staranności do przygotowania bibliografii. Należy zwrócić większą uwagę na ujednolicenie zapisów i podawanie przy publikacjach wszystkich wymaganych danych, np. wszystkich autorów publikacji, najpierw podając nazwiska a później inicjały ich imion Wstawianie spójnika „i” pomiędzy dane dwóch autorów jest błędem redakcyjnym. Wydzielenie do osobnych podrozdziałów bibliografii dokumentów prawnych oraz stron internetowych byłoby lepszym rozwiązaniem dla przejrzystości tej części rozprawy. Bibliografię należy także uzupełnić o wspomniane pozycje przywoływane w treści rozprawy.

Kandydat nie ustrzegł się również popełnienia pewnych błędów redakcyjnych czy też edytorskich.

Uchybieniami redakcyjnymi i edytorskimi są, np.:

- zapisanie tytułu rozdziału: „*Wykaz akronimów, symboli i oznaczeń*” wobec zapisania w nim samych tylko akronimów,
- niedokończenie zapisu właściwie przyjętej i postawionej hipotezy: „...wymaganej skuteczności”, brakuje dopełnienia o skuteczność czego chodzi tutaj Autorowi,
- brak kropek po cyfrach numerujących rozdziały i podrozdziały (są to liczebniki porządkowe) zarówno w spisie treści jak i w tekście pracy,
- zapisywanie anglojęzycznych określeń w nawisach bez zmiany kroju czcionki na *Italic*,

- wstawianie dwukropka po liczebniku porządkowym numerującym kolejne rysunki i tabele w tekście pracy i brak kropek po tych numerach w spisach rysunków i tabel,
- używanie zbyt małej czcionki do opisów wykresów, a w przypadku wykresów 5.2, 5.3, 5.4, 5.10, 5.11, 5.12 zastosowanie takich samych znaczników punktów dla wszystkich wyznaczonych przebiegów rozkładu poprzecznego cieczy,
- powielanie tytułu wykresu w obrębie wykresów i w podpisach pod tymi rysunkami,
- stosowanie różnej dokładności liczb dla analizowanych wartości na tych samych wykresach, jak np. na str. 69, 74,
- brak źródła w podpisie rysunku 7.1,
- niewłaściwy dobór kolorów tła pól tekstowych na rys. 4.2 i 4.12, powodujący nieczytelność niektórych opisów,
- brak legendy na niektórych wykresach, np. na rys. 5.26, 5.27,
- mylenie wielkości fizycznych objętości i pojemności w opisie badań na stole rowkowym,
- pozostawianie na końcach wersów wartości liczbowych i przenoszenie na początek kolejnego wersu związanych z nimi jednostek miary, jak np. na str. 31, 35,
- pozostawianie na końcach wersów pojedynczych liter, np. „a”, „i”, „z”, jak i dwuznaków np. „do”, „na”, „że”,
- słaba czytelność tabeli 6.1,
- brak podania oznaczeń symboli użytych w tabelach z wynikami obliczeń statystycznych i niekompletne opisy znajdujących się w nich danych, np. w tab. 28-31,
- brak objaśnień składników formuł matematycznych nr: 5.1, 5.2, 6.4, 6.5, 6.6,
- umieszczanie w spisach tabel i rysunków wyrazów w kolumnie zawierającej numerację ich stron, pomiędzy numerami stron kolejnych pozycji,
- wydzielenie chwastów z roślin (str. 7), czy sugerowanie, że rośliny rosną na podkładach kolejowych (str. 115),
- powtórzenie tych samych treści w akapitach na str. 31 oraz 32,
- literówki, błędne formy gramatyczne czy też niedokończone wyrazy, zdania.

4. Merytoryczna ocena pracy

Doktorant swoją dysertację rozpoczął od krótkiego rozdziału pierwszego: *Wstęp*, w którym połączył merytorycznie krótkie wprowadzenie z zaprezentowaniem genezy swojej pracy i podjęcia badań oraz opisu zakresu pracy.

W tej pierwszej części dysertacji, w trzech podrozdziałach, Autor nakreśla tło swojej pracy. Zaczyna od scharakteryzowania problemu ochrony roślin uprawnych w postaci chemicznej walki z chwastami. Uzasadnia go zarówno argumentami merytorycznymi (konieczność zapewnienia stałych dostaw wysokiej jakości żywności dla społeczeństwa) przywołując także obecnie funkcjonujące ramy prawne dotyczące funkcjonowania rolnictwa i szerzej gospodarki żywnościowej. W kolejnej części rozdziału przedstawia genezę podjęcia badań, którą jest chęć wykorzystania swojego doświadczenia i wiedzy mechatronicznej do opracowania rozpylacza (głowicy) o działaniu selektywnym. Urządzenie byłoby w stanie dostosowywać parametry oprysku do aktualnych warunków polowych i faz wzrostu roślin. Rozdział kończy opisem zakresu badań naukowych i prac rozwojowych jakie zamierza podjąć, aby spróbować rozwiązać wskazany problem techniczny i technologiczny. Ten ostatni

podrozdział powinien być przeniesiony do rozdziału trzeciego zatytułowanego: „*Cel, zakres i teza pracy*”, w którym brakuje tej właśnie części merytorycznej zapisanej w jego tytule. Do zawartości tego jak i następnych rozdziałów mam kilka uwag i pytań problemowych. Pierwsze pytanie dotyczy powodów umieszczenia ostatniego podrozdziału w tej części dysertacji i pominięcia tych informacji w dedykowanym mu rozdziale trzecim.

Mgr inż. S. Szymczyk włożył wiele wysiłku w przeanalizowanie bardzo wielu prac i zestawianie prezentowanych w nich wyników, danych zamieszczając przegląd i analizę źródeł literaturowych, dotyczących podejmowanego zagadnienia badawczego. Przeprowadzony przez siebie w rozdziale drugim rozprawy przegląd literatury zatytułował „*Stan wiedzy i technologii*” i podzielił na pięć podrozdziałów. Należy to podkreślić, doceniając jego pracowitość w tym aspekcie. Kolejna uwaga odnosi się do przytaczanych dokumentów prawnych regulujących zasady funkcjonowania rolnictwa w aspektach dotyczących ochrony roślin w Polsce i krajach Unii Europejskiej oraz norm. Doktorant zapoznał się z wieloma aktami prawnymi dotyczącymi tej problematyki. Jednak nie zdecydował się na ich zacytowanie, dlatego powinien zweryfikować pod tym względem tekst pracy jak i spis bibliografii, o czym już wspominałem. Powinien także zwrócić uwagę na aktualność prezentowanych danych w części 2.1., prezentuje dane z 2020 r., a dostępne są dane znacznie bardziej aktualne. W podrozdziale 2.3. Kandydat opisał kilka metod badania rozpylaczy i opryskiwaczy. W swoich badaniach wykorzystał metodę polegającą na zastosowaniu stołu rowkowego, pojawia się więc pytanie o celowość tak szerokiego opisu. W podrozdziale 2.4. Autor zamieścił wspomniane powtórzenie akapitu.

W zakończeniu tego rozdziału zabrakło podsumowania przeprowadzonych rozważań literaturowych prowadzącego do wskazania problemu badawczego jaki Doktorant zamierza rozwiązać w efekcie przeprowadzenia badań. Znalazł się on w pierwszym podrozdziale kolejnego 3. rozdziału dysertacji zatytułowanego *Cel, zakres teza pracy*. Mgr inż. S. Szymczyk prawidłowo wskazał problem technologiczny, którego rozwiązaniem chce się zająć. Jest nim opracowanie mechatronicznej głowicy opryskowej, a nie jak mylnie Autor podaje w całej pracy – rozpylacza do opryskiwacza, łączące w sobie zadanie inżynierskie w postaci opracowania konstrukcji, doboru materiałów i komponentów oraz badania naukowe pozwalające na określenie charakterystyki strumienia cieczy aplikowanej przez rozpylacz w zależności od jego ustawienia dopasowywanego do chwilowych warunków panujących na opryskiwanym polu oraz miejscowego porycia chwastami. W drugim podrozdziale definiuje cel swoich badań. W jego zapisie brakuje doprecyzowania jaką ocenę mechatronicznego rozpylacza zamierza prowadzić, jakie parametry oceniać. Dobrze wrażenie robi zamieszczony czytelny schemat realizacji zakładanych prac i badań. Ostatni, trzeci podrozdział został zatytułowany *Teza badawcza*. Jest to niewłaściwe określenie, stosowane w języku powszechnym, jednak w naukach empirycznym mamy do czynienia z hipotezami, które są przez przeprowadzony proces badawczy potwierdzane lub odrzucane (falsyfikowane). Tezy są stawiane i udowadniane w naukach ścisłych. Mgr inż. Sebastian Szewczyk dla ukierunkowania realizacji celu pracy sformułował prawidłową hipotezę badawczą, wskazującą także na użytkowe zastosowanie wyników badań i analiz. Zastrzeżenie budzi jej zakończenie, co zostało zapisane w punkcie drugim niniejszej recenzji, zawierającym ocenę formalną pracy doktorskiej. W tym rozdziale został także bardzo syntetycznie przedstawiony zakres pracy, a powinien się znaleźć opis zamieszczony w pierwszym rozdziale pracy.

Następnym, czwartym, rozdziałem pracy powinna być „*Metodyka badań*” zawierająca opis metod badawczych jakie były wykorzystywane w czasie prowadzenia badań, gromadzenia wyników i ich analizy oraz wykorzystywanej do tych celów aparatury badawczej. Doktorant nie zamieścił tego rozdziału, zapisując te wspomniane informacje i dane w kolejnych częściach swojej dysertacji wraz z opisami prowadzenia badań i interpretacji uzyskiwanych wyników. Stąd pojawia się pytanie o powód przyjęcia takiego właśnie układu dla tej pracy naukowej. Brak wydzielonej metodyki jest odczuwalny w odbiorze tej pracy, ponieważ czytelnik jest niejako zaskakiwany kolejnymi etapami pracy, przebiegiem i zakresem prowadzonych prac oraz badań.

Kolejny, a więc czwarty rozdział pracy został zatytułowany „*Projektowanie mechatronicznego rozpylacza*”. W jego pierwszej części Autor wychodząc od oprysku całopowierzchniowego dla roślin uprawianych w systemie szerokokorzystowym (np.: kukurydza, buraki, soja) jego zalet, a głównie wad przechodzi do koncepcji oprysku dedykowanego z podziałem na osobne opryski: rzędu roślin oraz międzyrzędzia pomiędzy kolejnymi rzędami roślin. Kończy tę część schematem blokowym wraz z opisem belki opryskowej wyposażonej w oddzielne rozpylacze do oprysku rzędów roślin oraz ich międzyrzędzi. Tytuł drugiego podrozdziału „*Modele bryłowe rozpylacza oraz systemu poziomowania*” jest niepełny, ponieważ brakuje określenia, dopełnienia co ma poziomować opracowywany system. Zastanawia także przyjęta przez Kandydata dokładność wymiarowa projektowanych elementów kończąca się nie „okrągłymi” wartościami wymiarów, np. szerokość głowicy rozpylacza 93 mm, modułowa rama nośna o szerokości 1507 mm i długości 1572 mm. Przy takiej dokładności wymiarowej kilka akapitów wcześniej podając metodykę wykonania elementów głowicy (str. 49) Autor informuje, iż zastosowanie technologii druku 3D do jej wykonania powoduje m.in. konieczność zaokrąglenia krawędzi. W przypadku ramy, która ma być „*wspawana*”, proponuję zapis „wykonana jako konstrukcja spawana” z profili stalowych, wskazana dokładność będzie bardzo trudna do osiągnięcia. Na stronie 51 znajduje się informacja o zoptymalizowaniu konstrukcji do jednorzędowego układu uprawy, niestety bez podania szczegółów tego działania. Stąd pojawia się kolejne pytanie problemowe o wyjaśnienie zakresu tej operacji oraz określenie jej parametrów. W kolejnym, trzecim podrozdziale znalazł się opis elektronicznego układu sterującego pracą opracowywanego modelu badawczego zespołu mechatronicznej głowicy opryskowej. Opis i zakres wykonanych prac wskazują na dużą wiedzę i doświadczenie mgr. inż. Sebastiana Szymczyka w tym zakresie. Zamieszczony na końcu tej części rys. 4.11. pokazujący zbudowany kompletny model badawczy jest jednak mało czytelny. Brak na nim, np. wskazania opisywanych wcześniej elementów składowych w postaci głowic z rozpylaczami czy elementów układu sterowania. Poza tym samej budowie, kompletacji i montażowi modelu badawczego powinien być poświęcony osobny rozdział rozprawy. Ostatni podrozdział tej części pracy dotyczy systemów wizyjnych i algorytmów sterowania działaniem rozpylacza i jego układem naprowadzania, które są oparte o informacje pozyskiwane na bieżąco z obserwacji opryskiwanej plantacji. Autor wskazuje oraz analizuje trzy różne metody służące do realizacji tego celu. W konkluzji słusznie dowodzi, że połączenie omawianych metod pozwoli na precyzyjne prowadzenie rozpylacza zarówno w międzyrzędziu jak i nad rzędem roślin uprawnych. Niestety, z treści nie da się jednoznacznie wywnioskować, czy zastosowany w modelu badawczym system

sterowania i naprowadzania rozpylaczy został w taki właśnie sposób skonfigurowany. W zawiązku z tym proszę do Doktoranta o skomentowanie i wyjaśnienie tej kwestii.

Obszerną część pracy stanowi rozdział piąty „Wyniki i analiza badań”, który Doktorant podzielił na trzy zasadnicze podrozdziały. Autor przeplata w nich kolejne fragmenty metodyki badań analizami uzyskiwanych wyników tych badań. Badania podzielił na dwie części: badania laboratoryjne głowicy z rozpylaczem i polowe całego modelu badawczego zespołu belki opryskowej wyposażonej w opracowaną głowicę. W trzeciej części tego rozdziału zamieścił syntetyczne omówienie wyników swoich badań. Badania laboratoryjne głowicy opryskowej, niestety niesprecyzowane zostało której, a z opisów wynika, iż tej do realizacji zabiegów międzyrzędowych, przeprowadzono na półautomatycznym stole rowkowym w laboratorium Łukasiewicz-PIT w Poznaniu. Ze względów bezpieczeństwa w badaniach laboratoryjnych i poletkowych wykorzystywano czystą wodę, co jest ogólnie stosownym podejściem do tego typu badań. Czasami dla lepszych efektów wizualnych woda jest zabarwiana naturalnymi barwnikami. Na tym stanowisku przeprowadził badania rozkładu poprzecznego cieczy przy różnych kątach ustawienia głowicy z rozpylaczem. W tekście pojawiła się nieścisłość, ponieważ stanowisko jest oczywiście obecnie własnością Łukasiewicz -PIT, ale jest autorską konstrukcją Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych. Do analizy stromości prawo i lewo stronnej rozkładu cieczy zastosował, jak zapisał na str. 68 „*znormalizowane wskaźniki*”, nie podał jednak tej źródłowej normy, a w pracy naukowej jaką przytoczył ich zapis jest nieco inny od przyjętego na potrzeby rozprawy. Proszę o wyjaśnienie tych rozbieżności. Na tej samej stronie w pierwszym akapicie zostało zapisane „...*przeanalizowano pod kątem stromości narastania i opadania*” niestety, zabrakło określenia jaki parametr będzie posiadał wzrastające i opadające wartości. Dla lepszego zobrazowania przebiegu doświadczenia i ułatwienia jego odbioru przez czytelnika wskazane byłoby, aby dla każdego kolejnego ustawienia badanej głowicy zamieścić schemat podobny do tego z rozdziału 4.1. Na końcu tej części pracy odczuwa się brak zebranych konkluzji z badań laboratoryjnych wraz ze wskazaniem do prowadzenia badań polowych.

Drugą część swoich badań mgr inż. S. Szymczyk przeprowadził na poletku doświadczalnym Łukasiewicz-PIT w Poznaniu, na którym została punktowo posadzona kukurydza, która w czasie testów miała średnią wysokość 85 cm. Badania te miały charakter porównawczy, ponieważ Doktorant porównywał oprysk wykonany standardową belką opryskową z 6 rozpylaczami z opryskiem belką z jedną głowicą mechatroniczną. Nośnikiem standardowej belki opryskowej oraz skonstruowanego modelu badawczego z głowicą był opracowany w Instytucie i zbudowany wspólnie z firmą Unia Sp. z o. o. z Grudziądza spalinowy robot polowy, nazywany również Polskim Robotem. W przypadku tych badań znacznym ułatwieniem dla ich interpretacji również byłby schemat poletka z naniesionymi charakterystycznymi punktami: rzędami roślin oraz miejscami rozstawienia punktów pomiarowych z papierkami wodoroczułymi wraz z ich wzajemnym ustawieniem. Autor w tabelach 5.1. i 5.2. zebrał dane pomiarowe opisujące parametry eksploatacyjne wykonanego oprysku. Zabrakło w nich podania wartości średnich, odchylenia standardowego czy też wartości błędu. Mimo minimalnej ilości danych porównawczych można się było również pokusić o analizę statystyczną istotności wpływu, np.: prędkości przejazdowej na zużycie cieczy przez badane rozpylacze. W obydwu tych tabelach opis czwartego wiersza jest nie prawidłowy, powinno być raczej „*Zużycie cieczy przez rozpylacze/ rozpylacz w [l]*”, ponieważ podane dane

wskazują na pomiar wartości takiej właśnie wielkości fizycznej. W opisie i interpretacji tych danych powinna się również znaleźć informacja o rzeczywistej szerokości oprysku, a są jedynie podane dane dotyczące zakresu zasięgu roboczego belki opryskowej. Zastanawiające są również rozbieżności i to sięgające nawet ponad 40 %, w zmierzonej prędkości przejazdowej robota, która mogła mieć wpływ na wielkość pokrycia papierków wodoczułych, a w konsekwencji na końcową ocenę jakości pracy rozpylacza. Należy tutaj jednak podkreślić, że każdorazowo robot pokonywał nieznacznie różną, mierzoną długość drogi w różnym, mierzonym czasie, co w konsekwencji dawało podobne wartości obliczonej analitycznie prędkości przejazdowej. Te różnice wynikały zapewne z bezwładności systemu uruchamiania i zatrzymywania pojazdu. Wyniki zostały zinterpretowane za pomocą wykresów pudełkowych. Szczegółowy opis interpretacji wykresu pudełkowego w tego typu dysertacji naukowej nie jest konieczny. Znajdująca się na str. 88 interpretacja wyników dla rys. 5.29. nie dotyczy tego wykresu. Przeprowadzone przez mgr. inż. Sebastiana Szymczyka analizy uzyskiwanych wyników pokazały, że zastosowanie rozpylacza umieszczonego w opracowanej przez niego sterowanej mechatronicznie głowicy obrotowej pozwala na zmniejszenie zużycia cieczy w porównaniu do pracy rozpylacza standardowego. Czynniki zmiennymi oprócz kąta ustawienia rozpylacza były dwie prędkości robocze (jazdy) urządzenia: 0,5 oraz 1,0 km·h⁻¹. Wykazana efektywność oprysku pozwala z kolei na jej powszechne stosowanie w różnych uprawach prowadzonych w szerokokorzystowych systemach uprawowych. Efektywność tej metody została wykazana poprzez porównywanie rozkładów poprzecznych kropel w trzech płaszczyznach istotnych z punktu widzenia jakości i skuteczności oprysku. Zarówno obszerność tego rozdziału jak i ilość wykresów pokazują wielkość pracy badawczej i analitycznej jaką wykonał mgr inż. Sebastian Szymczyk, przygotowując swoją dysertację. Należy to podkreślić i docenić jego dociekliwość. Ponieważ przedmiotem badań była mechatronicznie sterowana głowica opryskowa, w tej części pracy powinna się także znaleźć szersza analiza funkcjonalności całej głowicy, parametrów jej ruchów roboczych oraz współpracy mechanizmu ruchu z funkcją analizy obrazów pozwalającą na kontrolę pracy, wykrywanie roślin i identyfikację pośród nich chwastów. Ostatni podrozdział tej części rozprawy został zatytułowany „Dyskusja wyników”. Autor rozpoczyna go od nakreślenia tła oraz zakresu swoich dociekań naukowych. Następnie interpretuje uzyskane wyniki wskazując korzyści ekonomiczne i środowiskowe wynikające ze stosowania opracowanej przez niego mechatronicznej obrotowej głowicy opryskowej. Swoje wywody kończy argumentacją potwierdzającą prawdziwość postawionej hipotezy badawczej. Ta część pracy ma niewłaściwy tytuł, ponieważ jest to jedynie interpretacja i podsumowanie wyników badań własnych bez ich odniesienia do podobnych prac innych badaczy. Dyskusja wyników to z założenia konfrontacja własnych wyników i ustaleń badawczych z ustaleniami oraz spostrzeżeniami innych naukowców. Z tego powodu ta część pracy powinna być inaczej zatytułowana lub uzupełniona o brakujące elementy. Autor, w tej części jeden akapit poświęca na interpretację parametrów ilościowych, których wcześniej praktycznie nie podaje. Z tego powodu rodzi się pytanie o powód tego braku i prośba o przedstawienie tej analizy. Szerszego komentarza także wymaga stwierdzenie o trudnościach w zachowaniu stałego ciśnienia cieczy, jakie były powody występujących rozbieżności i w jaki sposób próbowano im zapobiegać. Autor słusznie zauważa, że na jakość oprysku zawsze istotny wpływ mają warunki atmosferyczne, a szczególnie kierunek i siła wiatru. W przypadku przeprowadzonych przez Niego badań

warunki środowiskowe, jak wynika z zamieszczonych w pracy danych i informacji, były stabilne i jednakowe przez cały czas prowadzenia eksperymentu. Uwagi o ich możliwym wpływie w takiej sytuacji powinny być podane jedynie w części zawierającej metodykę badań.

Oceniana praca doktorska została zrealizowana w ramach ministerialnego programu dofinansowania doktoratów wdrożeniowych. Zleceniodawcą prac i podmiotem gospodarczym mającym przeprowadzić wdrożenie wyników badań jest Sieć Badawcza Łukasiewicz-Poznański Instytut Technologiczny, którego pracownikiem jest mgr inż. Sebastian Szymczyk. Z tego powodu dwa kolejne 2 rozdziały rozprawy poświęcił zagadnieniom związanym z problematyką wdrożenia uzyskanych wyników badań. Pierwszy z nich, a szósty w pracy doktorskiej zatytułował: „*Koszty i analiza rynku*”. W jego pierwszej części zidentyfikował potencjalnych klientów i użytkowników opracowanej technologii i powiązanego z nią zespołu roboczego w postaci głowic opryskowych z mechatronicznie sterowanymi ruchami roboczymi. Opisał może nawet nieco za szczegółowo swój instytut i najważniejsze polskie firmy, które produkują opryskiwacze. Zamieszczone na rysunkach logotypy firm powinny mieć nieco mniejsze rozmiary. W tym rozdziale o swoim osiągnięciu powinien pisać w czasie przeszłym, a nie przyszłym, ponieważ zakończył badania, a ich efekt finalny przygotowuje, czy też oferuje do wdrożenia. Autor właściwie wskazuje przewagi konkurencyjne swojej głowicy opryskowej. Przeprowadza również analizę kosztów produkcji mechatronicznej głowicy. Dla zestawionych w tabeli 6.2. kosztów powinny zostać wskazane źródła, z których pozyskano informację o zamieszczonych zakresach kosztów podzespołów do budowy głowicy. W kolejnej części Doktorant poprawnie przeprowadził analizę SWOT opracowanej technologii mechatronicznej kontroli prowadzenia oprysków. Umieszczenie po stronie szans na szybkie wdrożenie swojego rozwiązania połączenia poznańskich instytutów jest co najmniej dyskusyjne z wielu merytorycznych powodów. Tę część pracy kończy syntetyczna analiza możliwości wariantowania podstawowego rozwiązania opracowanej głowicy opryskowej. Wariantowość została oparta na modułowości rozwiązania, co jest właściwym podejściem pozwalającym na poszerzenie możliwości wdrożeniowych przez dostosowywanie ich do zapotrzebowania rynkowego i potencjalnych klientów. Dobrym uzupełnieniem tego opisu byłyby schematy lub rysunki omawianych modułów i ich wariantów. W następnym rozdziale zatytułowanym „*Potencjał wdrożeniowy*” Doktorant rozszerza informacje dotyczące możliwości modułowego wdrożenia opracowanego rozwiązania technologicznego zarówno jako całości jak i możliwości adaptacji do istniejących opryskiwaczy, ich belek opryskowych jego poszczególnych modułów. W tej części wskazuje i potwierdza właściwy kierunek prowadzenia wdrożenia swojego rozwiązania technologicznego i technicznego. Podaje również prawidłowe możliwości, kierunki wdrożenia poza typowymi zastosowaniami w rolnictwie, czyli do ochrony roślin uprawianych w szerokich rzędach. Tymi kierunkami są m.in. walka z chwastami na poboczach dróg i autostrad czy na nasypach i torowiskach kolejowych. W tej i we wcześniejszej części brakuje wskazania chociażby przybliżonej perspektywy czasowej realizacji etapu wdrożenia. Prace, badania zostały zrealizowane w ramach programu dofinansowania doktoratów wdrożeniowych, więc takie informacje powinny być podane. Są one ważne głównie z punktu widzenia jednostki odpowiedzialnej za wdrożenie, czyli Łukasiewicz-PIT. Z tego powodu pojawia się kolejne pytanie o przedstawienie takiego przybliżonego harmonogramu i udziału w nim Instytutu.

Ostatnim rozdziałem pracy jest „*Podsumowanie i wnioski końcowe*”, który został podzielony na 6 krótkich części. Pierwsze pięć z nich zawierają wyodrębnione przez Autora pięć kategorii wniosków, a ostatni zawiera syntetyczne podsumowanie całości pracy. Ten ostatni podrozdział powinien rozpoczynać ten rozdział pracy płynnie prowadząc do wyciągniętych wniosków. Te z kolei niepotrzebnie zostały tak mocno podzielone. W gruncie rzeczy wnioski dotyczące hipotezy pracy, poznawcze, dotyczące dalszych badań oraz użytkowe i wdrożeniowe, to są po prostu wnioski. Przez taki sztuczny podział część wniosków po prostu się powiela, np.: pierwszy wniosek dotyczący hipotezy i pierwszy wniosek użytkowy są identyczne, choć inaczej zostały sformułowane. Część z przedstawionych wniosków można określić jako stwierdzenia. Zamieszczone 3 wnioski potwierdzające postawioną hipotezę badawczą w sposób syntetyczny przedstawiają uzyskane przez Doktoranta wyniki badań w ukierunkowaniu na możliwości ich praktycznego zastosowania. Podkreśla to użytkowy kierunek jego badań. Autor stwierdzając, że wyniki jego pracy dają solidną podstawę do kontynuacji badań i prac rozwojowych. Rekomenduje możliwe kierunki dalszych badań. Zamieszczone rekomendacje pokazują możliwości dalszego rozwoju opracowanego rozwiązania. Z kolei wnioski wdrożeniowe to raczej rekomendacje wskazujące jakie jego zdaniem działania w tym zakresie powinny zostać podjęte w niedalekiej przyszłości, a wynikają one z analiz zawartych w rozdziałach dotyczących przyszłego wdrożenia opracowanego rozwiązania technicznego i technologicznego. Zebrany materiał jest także bardzo dobrym przyczynkiem do prowadzenia dalszych badań, wnioskowania o krajowe i międzynarodowe granty badawcze czy opracowania publikacji naukowych. Te aspekty zostały właśnie wskazane przez Autora jako możliwe kierunki dalszych prac badawczych i rozwojowych.

Praca kończy się rozdziałami: 7. „*Bibliografia*”, 8. „*Spis tabel*” oraz 9. „*Spis rysunków*”. Uwagi i pytania do tych rozdziałów zamieszczono w części zawierającej ocenę formalną rozprawy, a w odniesieniu do bibliografii także w ramach oceny merytorycznej pracy.

5. Końcowa ocena rozprawy

Opiniowana przeze mnie praca naukowa mgr. inż. Sebastiana Szymczyka jako przedmiot rozprawy doktorskiej spełnia kryteria merytoryczne i formalne stawiane dysertacjom doktorskim. Praca wykonana została z użyciem prawidłowych metod badawczych, umożliwiających osiągnięcie założonego przez Doktoranta celu. Dobrze przyjął on założenia badawcze, rozplanował i przeprowadził swoje doświadczenia. Dokonał prawidłowej interpretacji uzyskanych wyników badań. Występujące w rozprawie błędy i uchybienia mają jedynie charakter edytorski i formalny.

W realizacji badań Doktorant wykazał się nie tylko dużą inwencją twórczą i pomysłowością, lecz także wytrwałością oraz pracowitością. Umożliwiło mu to zrealizowanie szerokiego zakresu prac badawczych, które dostarczyły wielu przydatnych dla praktyki danych i informacji.

Przyjęty w rozprawie sposób prezentowania rozważań jest ogólnie poprawny. Rozważania te są prowadzone konsekwentnie, a treść rozprawy ułożona jest we właściwej kolejności, chociaż metodyka powinna stanowić wyodrębniony rozdział, a nie być rozproszona w częściach dotyczących przebiegu badań i analizy ich wyników. Rozprawa wskazuje na dobre przygotowanie Autora do samodzielnego formułowania i rozwiązywania problemów naukowych. Zakres rozpatrywanej problematyki jest w pełni wystarczający i pod tym

względem rozprawę doktorską mgr. inż. Sebastiana Szymczyka należy ocenić pozytywnie. Przedstawione wyniki badań mają również duże znaczenie utylitarne.

Uwagi, pytania i spostrzeżenia jakie nasunęły mi się w trakcie oceny pracy zawarłem we wcześniejszych punktach niniejszej recenzji.

6. Wniosek końcowy

W podsumowaniu recenzji stwierdzam, że rozprawa pod względem merytorycznym spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571) i oceniam ją pozytywnie. Stwierdzam, że w rozprawie doktorskiej przedstawiono oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant wykazał się opanowaniem i posiadaniem ogólnej wiedzy teoretycznej oraz odpowiednim przygotowaniem do samodzielnego prowadzenia prac badawczych i naukowych.

Biorąc pod uwagę powyższą recenzję wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie mgr. inż. Sebastiana Szymczyka do publicznej obrony jego rozprawy doktorskiej pt. *„Opracowanie i badania mechatronicznego rozpylacza opryskiwacza rolniczego o zmiennej charakterystyce oprysku”*.

