

Dr hab. inż. Piotr Markowski, prof. UWM
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Wydział Nauk Technicznych
Katedra Pojazdów i Maszyn
ul. Michała Oczapowskiego 11
10-719 Olsztyn

Olsztyn, dn. 08.02.2026 r.



Recenzja

rozprawy doktorskiej Pana magistra inżyniera Michała Szarolety
pt. „Wpływ konstrukcji i działania zespołu sadzącego na proces sadzenia drzewek z zakrytym
systemem korzeniowym” w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora nauk
w dyscyplinie inżynieria mechaniczna

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

Promotor pomocniczy: Dr inż. Justyna Trojanowska

1. Podstawa formalna recenzji

Recenzja została opracowana na podstawie pisma nr DIM.075.292.2025 z dnia 4 grudnia 2025 r. Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr. hab. inż. Bartosza Gapińskiego, prof. PP, zgodnie z Uchwałą Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej nr 13/III/11/2025 z dnia 1 grudnia 2025 r., powołującą mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Michała Szarolety, w związku ze wszczęciem przewodu doktorskiego.

2. Zasadność podjęcia tematu

Aktualne potrzeby gospodarki leśnej są ukierunkowane na zastępowanie mało wydajnej i kosztownej pracy ręcznej pracą maszyn. Dotyczy to zwłaszcza prac o dużej pracochłonności, powtarzalnych lub niebezpiecznych, najczęściej związanych z pozyskiwaniem drewna. Podobny trend, tj. zastępowania pracy ręcznej pracą maszyn dotyczy prac związanych z odnowieniami i zalesieniami. Prace te są jeszcze w znacznym stopniu wykonywane ręcznie, co wiąże się z dużym obciążeniem fizycznym pracowników, niską wydajnością oraz wysokimi kosztami realizacji zadań wykonywanych na coraz większych powierzchniach. Konieczność mechanizacji tego typu prac związana jest także z jednoczesnym niedoborem siły roboczej oraz presją związaną ze skróceniem czasu wykonywania prac terenowych. Powoduje to konieczność poszukiwania rozwiązań umożliwiających automatyzację i mechanizację procesów sadzenia sadzonek drzew.

Mechanizowanie prac związanych z odnowieniami i zalesieniami napotyka na liczne bariery dotyczące maszynowego sadzenia sadzonek drzew oraz zastosowania robotów sadzących, mające charakter techniczny, organizacyjny i ekonomiczny. W literaturze przedmiotu oraz praktyce leśnej wskazuje się kilka kluczowych ograniczeń we wdrażaniu tych rozwiązań. Najważniejsze trudności dotyczą zmieniających warunków terenowych, zmienności stanu fizycznego gleby, takich jak wilgotność, zagęszczenie, zwężłość, opór penetracji, itd. Druga grupa problemów maszynowego sadzenia sadzonek drzew, na co zwrócił uwagę w dysertacji Doktorant, dotyczy podawania sadzonek w zespole (narzędziu)

sadzącym, a związanych z zakleszczaniem się sadzonek w magazynie lub podajniku, uszkodzeniami systemu korzeniowego powodowanymi przez zespoły robocze maszyn podczas chwytania sadzonek, czy też nieprawidłowego ustawienia sadzonki w glebie – odchylenia od pionu, płytkiego lub zbyt głębokiego umieszczania sadzonek w glebie czy z trudnościami z penetracją gleby.

W tym kontekście, aktualność podjętej w dysertacji doktorskiej tematyki badawczej jest zasadna i aktualna, stanowiąc problem naukowy, którego rozwiązanie przyczyni się do poszerzenia wiedzy naukowej i użytecznej w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, a także znajdzie potencjał wdrożeniowy.

3. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Tematyka rozprawy pracy koncentruje się na zagadnieniach związanych z projektowaniem, badaniami laboratoryjnymi i polowymi oraz wdrożeniem nowej konstrukcji narzędzia sadzącego przeznaczonego do mechanizacji i automatyzacji procesu sadzenia sadzonek drzew z zakrytym systemem korzeniowym. Recenzowana dysertacja obejmuje zarówno analizę stanu wiedzy i rozwiązań technicznych narzędzi i maszyn do sadzenia sadzonek drzew, jak i opracowanie autorskiej konstrukcji zespołu sadzącego, jej modelowanie, weryfikację obliczeniową oraz kompleksowe badania weryfikujące poprawność przyjętych założeń konstrukcyjnych przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych i polowych. Autor w pracy podjął próbę kompleksowego podejścia do problemu – od identyfikacji potrzeb praktyki leśnej, poprzez projekt i dobór geometrii narzędzia, badania laboratoryjne aż po testy eksploatacyjne (terenowe) i ocenę możliwości wdrożenia rozwiązania do praktyki.

Praca o charakterze wdrożeniowo-aplikacyjnym stanowi studium przypadku opracowania oraz implementacji nowego rozwiązania konstrukcyjnego w rzeczywistych warunkach terenowych. Zainteresowania Doktoranta koncentrują się na zwiększeniu efektywności, powtarzalności i jakości sadzenia przy jednoczesnym ograniczeniu udziału pracy ręcznej. Szczególną uwagę poświęcono analizie wpływu geometrii narzędzia, parametrów pracy oraz właściwości gleby na opory penetracji i jakość sadzenia – umieszczania sadzonek w glebie.

Podejmowana tematyka ma istotne znaczenie praktyczne, gdyż mechanizacja prac odnowieniowych w leśnictwie wiąże się z redukcją kosztów operacyjnych oraz skróceniem czasu realizacji zadań. Wdrożenie nowego narzędzia może przyczynić się do zwiększenia wydajności zalesień oraz efektywniejszego wykorzystania zasobów sprzętowych i ludzkich. Jednocześnie badania prowadzone przez Autora wpisują się w aktualne kierunki rozwoju inżynierii mechanicznej, związane z automatyzacją procesów technologicznych oraz projektowaniem specjalistycznych maszyn roboczych. Zawartość merytoryczna pracy potwierdza trafność i sensowność wyboru tematyki badawczej.

Recenzowana rozprawa, obejmująca autorskie rozwiązania konstrukcyjne, analizy numeryczne, badania eksperymentalne oraz prace wdrożeniowe, potwierdza trafność i zasadność wyboru tematu badawczego. Opracowane rozwiązanie ma charakter użyteczny i może znaleźć bezpośrednie zastosowanie w praktyce gospodarczej, co stanowi istotny walor aplikacyjny pracy doktorskiej.

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska została wykonana na Wydziale Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej pod opieką naukową Prof. dr. hab. inż. Stanisława Legutko, dr h.c. Rozprawa obejmuje 174 ponumerowane strony maszynopisu formatu A4. W pracy, oprócz części tekstowej, zamieszczono 10 tabel, 151 czarno-białych i kolorowych zdjęć, rysunków i wykresów oraz 133 pozycje literatury przedmiotu, w większości opublikowane po 2015 roku. Jakość i aktualność literatury należy uznać za wystarczającą dla poprawności i rzetelności opracowania.

Na treść rozprawy składa się 11 rozdziałów tworzących spójną i logicznie uporządkowaną całość, konsekwentnie prowadzoną od identyfikacji problemu badawczego, poprzez analizę stanu wiedzy, opracowanie rozwiązania konstrukcyjnego, aż po jego weryfikację doświadczalną i ocenę możliwości wdrożenia w praktyce. Oprócz tego, w rozprawie jest zamieszczone *streszczenie* w języku polskim i angielskim, *spis rysunków i tabel, załączniki oraz bibliografia*.

We wstępie (strony 7-9) Autor w sposób syntetyczny uzasadnił potrzebę mechanizacji i automatyzacji prac sadzeniowych w leśnictwie, wskazując na ograniczenia pracy ręcznej oraz rosnące zapotrzebowanie na maszynowe sadzenie sadzonek drzew. W rozdziale tym Doktorant przedstawił tło realizowanych badań w kontekście swojego udziału w projekcie badawczo-rozwojowym, w ramach którego opracowano autonomiczny robot do sadzenia sadzonek. W dalszej części Autor przedstawia genezę tematu oraz doświadczenia zdobyte podczas prób terenowych prototypu, wskazując na czynniki negatywnie wpływające na jakość i powtarzalność sadzenia, takie jak zakleszczanie sadzonek, nieprawidłowe ich pozycjonowanie czy trudności w penetracji gleby. Zidentyfikowane problemy stały się bezpośrednią przesłanką do podjęcia prac nad modyfikacją konstrukcji narzędzia sadzącego.

Rozdział drugi, zatytułowany „*Obecny stan wiedzy*” (strony 10-38), stanowi przegląd informacji naukowych na temat rozpatrywanych w rozprawie zagadnień. Rozdział ten został podzielony na 2 podrozdziały, w których Kandydat przedstawił stan wiedzy i stosowane rozwiązania konstrukcyjne narzędzi sadzących oraz dokonał porównania rozwiązań konstrukcyjnych i funkcjonalnych maszyn i narzędzi do sadzenia sadzonek drzew. Autor scharakteryzował rozwiązania o różnym stopniu mechanizacji, wskazując ich parametry eksploatacyjne, zalety oraz ograniczenia techniczne i organizacyjne.

Przeprowadzona analiza pozwoliła zidentyfikować niedoskonałości istniejących konstrukcji oraz lukę technologiczną w zakresie efektywnego i powtarzalnego sadzenia sadzonek, co stanowi uzasadnienie dla opracowania nowego narzędzia sadzącego.

W kolejnym rozdziale, trzecim (strony 39-40) zatytułowanym „*Cel pracy, problem naukowy i teza pracy*” Doktorant przedstawił cel główny, problem naukowy oraz tezę badawczą. Cel główny dotyczył opracowania nowej konstrukcji narzędzia sadzącego. Problem naukowy został sformułowany jako zależność między postacią konstrukcyjną zespołu sadzącego a poprawnością procesu sadzenia określaną parametrami technicznymi. Następnie Autor sprecyzował cele szczegółowe w postaci pytań badawczych dotyczących wpływu konstrukcji narzędzia i parametrów roślin na jakość procesu, a także zdefiniował operacyjnie „przebieg procesu sadzenia” oraz wskazał mierzalne parametry oceny (np. ciśnienie w układzie hydraulicznym, głębokość zagłębiania narzędzia sadzącego). Teza pracy ma postać jednoznacznego twierdzenia o wpływie konstrukcji i działania narzędzia na przebieg procesu sadzenia. Dodatkowo doktorant przedstawił schemat identyfikacji luki badawczej i plan działań badawczych, co porządkuje układ działań w dalszej części rozprawy.

W rozdziale czwartym, podzielonym na 4 podrozdziały (strony 41-65), doktorant przedstawił kompletną i wieloetapową procedurę badawczą obejmującą analizę numeryczną, badania laboratoryjne i polowe oraz opracowanie statystyczne wyników badań. Taka kolejność postępowania wskazuje na typowo inżynierskie podejście do problemu, w którym najpierw sprawdzana jest poprawność konstrukcji w środowisku wirtualnym, następnie w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, a następnie w warunkach rzeczywistych, gdzie pojawiają się czynniki losowe i zmienność środowiskowa.

Rozdział piąty (str. 66-79) stanowi fazę przejścia od części analitycznej do właściwego etapu projektowego. Autor, na podstawie wcześniej zgromadzonej wiedzy z wykonanego przeglądu literatury, analizy oferty rynkowej oraz doświadczeń z robotem RoboFoR, podejmuje próbę opracowania nowej konstrukcji narzędzia sadzącego. Punktem wyjścia jest istniejąca platforma robota i jego układ kinematyczny, co pozwala założyć, że jest możliwe wdrożenie opracowanej konstrukcji. Przedstawione zostają kolejne koncepcje narzędzia, różniące się sposobem penetracji gleby i geometrią części roboczej.

W kolejnym rozdziale (strony 80-81) Doktorant identyfikuje czynniki decydujące o poprawności procesu sadzenia. Koncentruje się na dwóch grupach parametrów: geometrii ostrza oraz parametrach pracy narzędzia. Autor definiuje, które wielkości należy mierzyć i jakie zależności są kluczowe dla zapewnienia jakości sadzenia. Wskazanie geometrii ostrza i parametrów ruchu jako głównych zmiennych eksperymentalnych porządkuje dalszą część pracy i nadaje jej spójność metodologiczną.

W rozdziale siódmym dysertacji (strony 82-98) jest przedstawiona realizacja badań laboratoryjnych i polowych. Autor opisuje przygotowanie materiału roślinnego, rodzaje sadzonek iglastych i liściastych oraz warunki prowadzenia testów. Takie podejście umożliwia uzyskanie powtarzalności warunków – gleba przed każdym badaniem była każdorazowo spulchniana i ujednolicona, a przejazdy polowe wykonywano w ściśle określonych wariantach: dla obu typów ostrzy narzędzia sadzącego z sadzonkami i bez nich. Takie podejście pozwoliło oddzielić czysty opór penetracji od efektów związanych z transportem sadzonek. Autor szczegółowo dokumentuje czynności przygotowawcze i przebieg prób, co zwiększa wiarygodność eksperymentu i umożliwia jego odtworzenie.

Rozdział ósmy (strony 99-117) ma charakter kluczowy z punktu widzenia weryfikacji tezy. W rozdziale tym zamieszczone są wyniki badań wraz z ich analizą. Autor zestawia dane liczbowe dotyczące zagłębiania narzędzia przy określonych wartościach siły, porównując dwa warianty ostrza – klinowego i stożkowego.

W rozdziale dziewiątym (strony 118-124) Autor przeniósł rozważania z poziomu eksperymentalnego na poziom aplikacyjno-gospodarczy. W tej części pracy zostały omówione prace wdrożeniowe, modyfikacje konstrukcji niezbędne do praktycznego zastosowania narzędzia oraz potencjalne obszary wykorzystania. Analizowane są także kwestie identyfikacji klientów, kryteriów wyceny oraz sposobów wprowadzenia rozwiązania na rynek.

Rozdział dziesiąty (strona 125 i strony od 145 do 173) ma charakter formalno-techniczny i zawiera dokumentację narzędzia. Przedstawione są elementy dokumentacji konstrukcyjnej, schematy połączeń hydraulicznych oraz instrukcja obsługi. Dołączenie do dysertacji załączników oznacza, że rozwiązanie zostało doprowadzone do stadium pozwalającego na praktyczne wykonanie i wprowadzenie do praktyki leśnej narzędzia sadzącego. W sensie metodologicznym rozdział ten pełni funkcję materializacji efektów badań.

Rozdział jedenasty (strony 126-129) stanowi podsumowanie całej pracy i syntetyzuje uzyskane wyniki badań. Autor formułuje w nim wnioski odnoszące się bezpośrednio do postawionej tezy, wnioski poznawcze wynikające z analizy wyników badań eksperymentalnych oraz wnioski o charakterze użytkowym i wdrożeniowym. Przeprowadzone badania wykazują, że modyfikacja geometrii narzędzia sadzącego, w szczególności zastosowanie końcówki stożkowej, sprzyja łatwiejszemu zagłębianiu narzędzia w glebę, co sprzyja osiąganiu większych głębokości roboczych przy porównywalnych obciążeniach roboczych, co pośrednio wskazuje na zmniejszenie oporów penetracji gleby. Autor podkreśla również

zgodność tendencji obserwowanych w badaniach laboratoryjnych i polowych, co sugeruje możliwość wykorzystania testów stanowiskowych jako tańszego i szybszego etapu wstępnej weryfikacji rozwiązań konstrukcyjnych. W zakończeniu wskazane zostają także kierunki dalszych badań oraz potencjalne możliwości rozwoju i doskonalenia konstrukcji.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Szarolety stanowi spójne i konsekwentnie zrealizowane opracowanie ukierunkowane na rozwiązywanie problemów technologicznych. Zasadniczą wartością pracy jest umiejętne powiązanie części teoretycznej, projektowej i eksperymentalnej z zastosowaniem praktycznym, jakim jest mechanizacja procesu sadzenia sadzonek drzew leśnych z wykorzystaniem zaprojektowanego narzędzia sadzącego stanowiącego element roboczy robota RoboFoR. Wartością dodaną pracy, obok rozważań modelowych, są przeprowadzone badania w warunkach rzeczywistych i laboratoryjnych, co znacząco podnosi użyteczność uzyskanych wyników.

Rozprawa doktorska stanowi spójną i logicznie uporządkowaną i konsekwentnie zrealizowaną całość. Zawartość poszczególnych rozdziałów można uznać za kompletną, wewnętrznie koherentną i niewymagającą znaczących uzupełnień. Punktem wyjścia do realizacji pracy okazał się trafnie zidentyfikowany problem praktyczny, tj. niska wydajność i duże obciążenie pracy ręcznej przy sadzeniu sadzonek drzew oraz niedoskonałości dotychczas stosowanego narzędzia sadzącego w robocie RoboFoR. Wykonany przegląd literatury wraz z analizą rozwiązań technicznych, pozwala osadzić problem w aktualnym stanie wiedzy i wykazać istnienie luki badawczej. W dalszej części pracy formułowane są cel, problem naukowy i teza, które porządkują i wyznaczają zakres badań i kierunek dalszych działań. Taka sekwencja świadczy o poprawnym warsztacie badawczym pozwalającym przejść od diagnozy problemu do jego rozwiązania.

W części projektowej Autor analizując koncepcje konstrukcyjne wariantów narzędzia sadzącego, rozważa ich zalety oraz niedoskonałości (ograniczenia) technologiczne. Wybór wariantu narzędzia sadzącego – opartego na modyfikacji istniejącego narzędzia, zamiast projektowania całkowicie nowej konstrukcji – świadczy o dużym doświadczeniu inżynierskim doktoranta i racjonalnym podejściu projektowym. Takie postępowanie zmniejsza ryzyko wdrożeniowe i kosztowe przy jednoczesnym osiągnięciu poprawy parametrów pracy. Jest to postawa typowa dla prac realizowanych z myślą o rzeczywistym zastosowaniu w praktyce, wdrożeniu.

Istotną wartością merytoryczną dysertacji jest, o czym wspominałem wcześniej, zastosowanie wieloetapowej metodyki badań, obejmującej analizy numeryczne, badania laboratoryjne oraz polowe. Takie podejście zwiększa wiarygodność wyników i sformułowanych na ich podstawie wniosków. Takie podejście pozwala weryfikować rozwiązanie na różnych poziomach złożoności – od modelu teoretycznego po warunki rzeczywiste. Szczególnie cenne są badania terenowe, które w pracach konstrukcyjnych są często pomijane. W ocenianej pracy stanowią one finalną część badań, będąc podstawowym źródłem danych umożliwiającym wykonanie oceny rzeczywistego zachowania narzędzia w glebie.

Na uwagę zasługuje także fakt, że Autor operuje mierzalnymi parametrami fizycznymi, takimi jak siły, ciśnienia czy głębokość zagłębiania. Pozwala to na ilościową ocenę efektów modyfikacji konstrukcji. Wykazana poprawa zagłębiania przy porównywalnych obciążeniach roboczych wskazuje na korzystniejszą współpracę narzędzia z glebą, co jest związane ze zmniejszeniem oporów penetracji gruntu.

Najbardziej wyróżniającym elementem rozprawy jest jej aspekt wdrożeniowy. Opracowane narzędzie sadzące zostało nie tylko zaprojektowane i przebadane, lecz również uzupełnione o dokumentację techniczną, schematy połączeń oraz elementy instrukcji obsługi. Świadczy to o gotowości rozwiązania do wdrożenia. Dodatkowo w pracy przedstawiono analizę możliwości komercjalizacji, uzupełnioną o identyfikację potencjalnych odbiorców. Do rozprawy dołączono również kserokopię zaświadczenia potwierdzającego zainteresowanie wdrożeniem wyników pracy w postaci dokumentacji, wiedzy oraz rezultatów badań przez Ośrodek Techniki Leśnej w Jarocinie (Załącznik 3). Tego typu treści wykraczają poza standard akademicki i wskazują na przemysłowy charakter projektu. Ponadto szansę na wdrożenie opracowanej konstrukcji zwiększa fakt, że proponowane rozwiązanie nie wymaga budowy całkowicie nowej maszyny, lecz może zostać zaadaptowane do istniejącej platformy robota. Oznacza to niższe bariery wejścia dla użytkownika końcowego i większe prawdopodobieństwo faktycznego zastosowania technologii. Z punktu widzenia gospodarki leśnej ma to istotne znaczenie, ponieważ zwiększa szanse na doskonalenie procesu sadzenia.

Mimo licznych walorów poznawczych i aplikacyjnych rozprawa nie jest pozbawiona pewnych niedoskonałości. W pracy można wskazać obszary, które mogłyby zostać opracowane bardziej dogłębnie lub z większą rygorystycznością metodologiczną, co dodatkowo wzmocniłoby jej wartość naukową i dowodową.

Istotnym ograniczeniem merytorycznym pracy jest stosunkowo skromna ocena jakości samego procesu sadzenia sadzonek drzew. Autor skoncentrował się przede wszystkim na aspektach mechanicznych pracy narzędzia, takich jak siły oddziałujące na element roboczy, głębokość zagłębiania czy parametry hydrauliczne układu. Z punktu widzenia konstrukcji maszyny są to wielkości kluczowe, jednak nie odzwierciedlają w pełni efektu użytkowego, jakim jest prawidłowo przeprowadzony proces sadzenia sadzonek drzew. W pracy brakuje systematycznych badań pozwalających bezpośrednio ocenić jakość wykonanych nasadzeń, takich jak: odchylenie sadzonek od pionu, stabilność osadzenia sadzonki w glebie, prawidłowość ułożenia systemu korzeniowego, stopień docięnięcia gleby wokół bryły korzeniowej, powtarzalność głębokości sadzenia czy odsetek sadzonek posadzonych wadliwie. Nie przeprowadzono także obserwacji odroczonych w czasie, obejmujących przeżywalność roślin lub ich początkowy wzrost, które stanowiłyby najbardziej jednoznaczny wskaźnik skuteczności technologii.

W efekcie ocena poprawy działania narzędzia opiera się głównie na przesłankach pośrednich – lepszym zagłębianiu i korzystniejszych parametrach pracy – przy założeniu, że przekłada się to automatycznie na jakość sadzenia. Z punktu widzenia inżynierskiego jest to rozumowanie logiczne, jednak z perspektywy naukowej i użytkowej nie w pełni wystarczające. Czynnikiem przemawiającym za wdrożeniem zaprojektowanej konstrukcji narzędzia sadzącego jest bowiem nie tylko to, czy narzędzie pracuje z mniejszymi oporami, ale przede wszystkim to, czy zapewnia prawidłowe warunki rozwoju roślin i minimalizuje odsetek poprawek. Uzupełnienie badań o ilościową ocenę jakości nasadzeń lub ocena stopnia przyjęć sadzonek znacząco wzmocniłoby argumentację praktyczną pracy i pozwoliłoby powiązać parametry mechaniczne z realnym efektem agrotechnicznym.

Najbardziej zauważalnym ograniczeniem o charakterze metodycznym jest stosunkowo skromne opracowanie statystyczne wyników badań. Autor narzędzie to ograniczył zasadniczo do wykonania podstawowej statystyki opisowej oraz prostego testu t-Studenta, wykonywanego w arkuszu kalkulacyjnym. Takie podejście pozwala wykazać podstawowe różnice między wariantami narzędzia, ale nie

daje pełnego obrazu zmienności danych ani nie pozwala na głębszą interpretację wpływu wielu czynników jednocześnie. W badaniach terenowych, gdzie naturalnie występuje duża losowość związana z właściwościami gleby, wilgotnością czy sposobem prowadzenia maszyny, analiza jednowymiarowa może być niewystarczająca. Brakuje w szczególności weryfikacji założeń testów parametrycznych (normalność rozkładu, jednorodności wariancji), przedziałów ufności czy analizy mocy testu. W efekcie wnioski statystyczne mają charakter raczej potwierdzający obserwacje niż w pełni dowodowy. Z metodologicznego punktu widzenia silniejszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie analizy wariancji (ANOVA), modeli regresyjnych lub metod mieszanych, co wymagałoby zwiększenia liczby powtórzeń i bardziej formalne planowanie eksperymentu.

Drugim, w moim odczuciu słabszym elementem dysertacji jest część dotycząca analizy wytrzymałościowej MES. Sama decyzja o zastosowaniu symulacji numerycznych jest zasadna i zgodna z dobrą praktyką projektową, natomiast sposób ich prezentacji ma charakter dość skrótowy. Opis ogranicza się głównie do przedstawienia wyników w postaci map naprężeń i przemieszczeń, bez szerszego omówienia przyjętych założeń modelowych. Brakuje dokładnej charakterystyki modelu materiałowego, warunków brzegowych, sposobu przyłożenia obciążeń. Nie ma również walidacji modelu poprzez porównanie z pomiarami rzeczywistymi. W konsekwencji analiza MES pełni raczej funkcję ilustracyjną i projektowo-orientacyjną niż pełnoprawną weryfikację numeryczną konstrukcji. W pracy doktorskiej można by oczekiwać bardziej krytycznej interpretacji wyników.

Kolejnym ograniczeniem jest stosunkowo wąski zakres warunków eksperymentalnych. Badania polowe prowadzone były z wykorzystaniem jednego typu gleby i w ograniczonym przedziale parametrów pracy. Z punktu widzenia wdrożeniowego jest to zrozumiałe, ale z naukowego utrudnia uogólnianie rezultatów. Rozszerzenie badań o różne klasy gleb, poziomy wilgotności czy zróżnicowane prędkości robocze pozwoliłoby lepiej określić granice stosowalności opracowanego rozwiązania.

Podsumowując, rozprawa prezentuje dobry poziom merytoryczny i wyraźnie inżynierski charakter. Jej mocną stroną jest kompleksowość podejścia, obejmująca projekt, badania, analizę oraz przygotowanie do wdrożenia. Szczególnie wartościowy jest fakt, że opracowane rozwiązanie ma realny potencjał użytkowy i zostało doprowadzone do stadium gotowości technologicznej. W efekcie praca nie tylko wnosi wkład poznawczy w zakresie oddziaływania geometrii narzędzia na przebieg procesu sadzenia, lecz przede wszystkim dostarcza zweryfikowany technicznie produkt, który może zostać bezpośrednio zastosowany w praktyce leśnej. Zamieszczone w recenzji uwagi mają charakter uzupełniający i nie podważają ogólnej, wysokiej oceny merytorycznej przedstawionych badań.

5. Ocena formalnej i edytorskiej jakości rozprawy

Reasumując stwierdzam, że oceniana praca doktorska zawiera wszystkie elementy, z których, z formalnego punktu widzenia, powinna składać się rozprawa doktorska, w tym: *wstęp, analizę stanu wiedzy wraz z przeglądem rozwiązań konstrukcyjnych i funkcjonalnych narzędzi sadzących, problem badawczy i cel pracy, metodykę badań, projekt konstrukcji zespołu sadzącego, wyniki badań laboratoryjnych i polowych wraz z ich analizą, podsumowanie i wnioski końcowe*. Do zastosowanego w rozprawie sposobu prezentowania zagadnień nie mam negatywnych uwag i uważam, że jest ogólnie poprawny. Rozważania są prowadzone konsekwentnie, bez odbiegania od rozwiązywanego problemu badawczego, z zachowaniem właściwych proporcji w ujmowaniu poszczególnych jego elementów.

Język rozprawy, z małymi wyjątkami, jest poprawny. Praca pod względem wizualnym jest przygotowana starannie, zawiera niewiele błędów literowych, stylistycznych i logicznych. Nie decydują one o wartości merytorycznej rozprawy. Część zauważonych błędów przed opublikowaniem wyników rozprawy, należy usunąć. Ponadto w rozprawie znajdują się pewne niedociągnięcia terminologiczne i nieścisłości w podpisach tabel i rysunków. Od autorów prac doktorskich wymaga się ścisłych i jednoznacznych określeń oraz precyzyjnego, poprawnego stylistycznie i gramatycznie języka. Poniżej zamieszczam przykładowe błędy i niedociągnięcia odnotowane w maszynopisie ocenianej rozprawy doktorskiej:

- str. tytułowa. Uwaga dotyczy brzmienia tytułu pracy. Zapis oryginalny: *„Wpływ konstrukcji i działania zespołu sadzącego na proces sadzenia drzewek z zakrytym systemem korzeniowym”* uważam użycie w tytule słowa „drzewek” za niepoprawne i zaczerpnięte z języka potocznego. Zapis poprawny powinien brzmieć: *„Wpływ konstrukcji i działania zespołu sadzącego na proces sadzenia sadzonek drzew z zakrytym systemem korzeniowym”*.
- str. 8, podrozdział 1.2., 3 punkt – zapis oryginalny: *„... zbyt mocno zbita warstwa gleby.”*, zapis poprawny: *„... nadmiernie zagęszczona warstwa gleby.”*.
- str. 13, podrozdział 2.1., 4 akapit, 4 wers od góry – zapis oryginalny: *„Szczególny nacisk położono na zależność tempa zużycia narzędzi od poziomu wilgotności ziemi.”*. Zapis poprawny to *„Szczególny nacisk położono na zależność tempa zużycia narzędzi od wilgotności gleby.”* – zapis „od poziomu wilgotności ziemi” nie jest poprawny terminologicznie, gdyż w tym znaczeniu słowo „ziemia” jest słowem potocznym i może oznaczać po prostu grunt lub powierzchnię. Z kolei słowo „gleba” oznacza warstwę gruntu, której właściwości (np. wilgotność, struktura) mają znaczenie dla badań naukowych.
- str. 16. zapis oryginalny: *„Mniejszy kąt wierzchołkowy jest zaletą zarówno podczas zagłębiania klina, jak i podczas otwarcia jego ewentualnych ramion w glebie.”* – błąd składni, niepoprawny szyk zdania. W obecnej formie fragment „ewentualnych ramion” sugeruje, że to ramiona są elementem opcjonalnym, podczas gdy intencją autora najprawdopodobniej było odniesienie przymiotnika do czynności otwarcia (tj. ewentualnego rozwarcia ramion). Sformułowanie wymaga doprecyzowania i zmiany szyku w celu jednoznacznego przekazu.
- w pracy dość często występuje błąd techniczno-redakcyjny (edycyjny) związany z nieprawidłową obsługą odwołań do literatury, polegający na braku poprawnego powiązania cytowań z pozycjami bibliograficznymi w edytorze tekstu. Problem ten pojawia się zarówno w treści zasadniczej rozprawy, jak i w podpisach rysunków (str. 10, 12, 17, 18, 66).
- str. 18. Zapis oryginalny *„W Tabela 2.1 zestawiono ...”* powinno być: *„W tabeli 2.1 zestawiono ...”*.
- str. 39. Autor sformułował tezę w brzmieniu: *„konstrukcja i działanie narzędzia sadzącego mają wpływ na przebieg procesu sadzenia drzewek z zakrytym systemem korzeniowym”*. W mojej opinii, zamiast formułować jedną tezę, Autor powinien rozważyć sformułowanie hipotezy lub zestawu hipotez badawczych. Teza jest bowiem głównym twierdzeniem lub założeniem pracy, które Autor zamierza udowodnić i obronić; stanowi ona twierdzenie, co do którego Autor jest przekonany o jego prawdziwości. W badaniach stosowanych, do których zalicza się prace w inżynierii mechanicznej, standardową praktyką jest formułowanie hipotez badawczych –przypuszczeń, które naukowiec weryfikuje empirycznie poprzez eksperymenty i analizy.
- str. 47. podrozdział 4.2., 4 wers od góry – zapis oryginalny: *„... w metalu ze stali typu S355.”*, zapis poprawny: *„... ze stali typu S355.”* lub *„... z metalu –stali typu S355.”*.

- str. 71. podrozdział 5.3. 1 wers. – zapis oryginalny „Wykonane analizy MES pozwoliły uzyskać wartości naprężeń, ...”, zapis poprawny „Wykonane analizy MES pozwoliły wyznaczyć wartości naprężeń, ...”.
- str. 80. podrozdział 6.2. 1 akapit i wers od góry – zapis oryginalny: „Parametr ten wpływa bezpośrednio na **szybkość prowadzenia procesu** umieszczania sadzonek w glebie.”, zapis poprawny: „Parametr ten wpływa bezpośrednio na wydajność procesu sadzenia.”.
- str. 84. Podrozdział 7.7. drugi akapit od dołu, 5 wers od góry. Zapis oryginalny: „Była to obserwacja wzrokowa prowadzona na bieżąco, podczas której dokonywano subiektywnej oceny, w jaki sposób sadzonka przemieszcza się przez wnętrze narzędzia – czy występuje znaczące tarcie sadzonki o ścianki wewnętrzne narzędzia ...” – proszę Doktoranta o wyjaśnienie, w jaki sposób Autor mógł metodą wzrokową wyznaczyć tarcie sadzonki o ściany wewnętrzne narzędzia?
- str. 88. Podpis rysunku 7.13. zapis oryginalny: „Sadzonka sosnowa po wysadzeniu narzędziem ...”, zapis poprawny: „Sadzonka sosny wysadzona narzędziem ...”.
- str. 99. Podpis tabeli 8.1. – nagłówek 3 kolumny, zapis oryginalny „Wysokość płytki przymocowanej do czujnika od górnej krawędzi pojemnika ...”, zapis poprawny: „Odległość płytki przymocowanej do czujnika ...”.
- str. 116. Podrozdział 8.3. – zamieszczono tytuł oraz numer tabeli 8.5, jednak brak jest samej tabeli oraz towarzyszącego jej akapitu opisującego zawartość i interpretację danych. Utrudnia to właściwe odczytanie wyników i zaburza ciągłość prezentacji materiału badawczego.
- str. 128. 1 akapit. 3 wniosek poznawczy: Autor we wniosku napisał, że „Wartości zagłębienia w glebie w przypadku ostrza stożkowego były w skrajnych przypadkach 10÷20% większe, niż w przypadku ostrza klinowego ...” (zapis oryginalny), wskazując na korzystniejsze właściwości penetracyjne tej geometrii. W moim odczuciu to sformułowanie nie jest w pełni precyzyjne. Autor nie podaje jednoznacznie, czy porównanie wykonano w identycznych warunkach obciążenia, prędkości pracy oraz przy jednakowych parametrach glebowych (wilgotność, zagęszczenie, skład granulometryczny). Brak doprecyzowania warunków badań utrudnia jednoznaczną interpretację wyników i może sugerować, że różnice wynikają z lokalnej zmienności ośrodka, a nie wyłącznie z geometrii ostrza, które może jedynie pośrednio kształtować wartość siły oporu poprzez zmianę sposobu (warunków) oddziaływania z gruntem. Wskazane byłoby wyraźne zaznaczenie, że pomiary przeprowadzono w porównywalnych warunkach lub uzupełnienie wniosku o informację o kontrolowanych parametrach eksperymentu. Ponadto w dalszej części wniosku Autor stwierdza, że „zależnie od kolejnej próby i lokalnych właściwości gleby ...”. Sformułowanie to stanowi nadmierne uproszczenie i jest metodologicznie nieprecyzyjne. Głębokość pracy narzędzia nie zależy bowiem od samej kolejności próby, lecz od konkretnych, mierzalnych parametrów doświadczenia, takich jak właściwości mechaniczne gleby (m.in. wilgotność, zagęszczenie), warunki obciążenia czy prędkość robocza. Wskazane byłoby jednoznaczne odniesienie się do tych czynników zamiast ogólnego określenia „kolejna próba”, które nie niesie informacji merytorycznej i może utrudniać interpretację wyników.
- str. 128. 2 akapit. 4 wniosek poznawczy: W przedstawionym wniosku pojawia się sformułowanie sugerujące, że ostrze klinowe „generuje opory gruntu”. Z punktu widzenia mechaniki jest to pewne uproszczenie językowe, gdyż opór stanowi reakcję ośrodka, w tym przypadku gruntu na ruch narzędzia, a nie jest generowany przez samo ostrze. Bardziej precyzyjne byłoby stwierdzenie, że zastosowanie określonej geometrii ostrza powoduje wzrost wartości siły oporu gruntu lub

wymaga większej siły penetracji. Doprecyzowanie terminologii poprawiłoby poprawność merytoryczną oraz jednoznaczność interpretacji wyników.

- brak oznaczeń (odnośników) na fotografiach i rysunkach prezentujących konstrukcję narzędzia sadzącego oraz zastosowane układy pomiarowe, co istotnie utrudnia interpretację budowy i zasady działania systemu, szczególnie w przypadku ilustracji o ograniczonej czytelności.

Po lekturze dysertacji pojawiają się pewne pytania:

1. W drugim wniosku odnoszącym się do tezy pracy, wskazuje Pan, że *„Gatunek sadzonych drzew i związane z nim parametry rośliny mają istotny wpływ na przebieg i jakość procesu ich sadzenia. Zasadniczo już na etapie przygotowania do badań stwierdzono, że dwuletnie sadzonki drzew liściastych w okresie, kiedy dojrzałe są liście nie są możliwe do wysadzenia przez narzędzie tego typu.”* W związku z powyższym proszę o doprecyzowanie, czy w praktyce stosowane są rozwiązania konstrukcyjne narzędzi sadzących umożliwiające sadzenie tego rodzaju sadzonek, a jeśli tak, to jakie są to rozwiązania i z powodu jakich czynników nie mógł Pan zastosować podobnego rozwiązania w konstrukcji autorskiego rozwiązania?
2. Do oszacowania oporów roboczych Doktorant posłużył się wykresem zwężłości gleby, przyjmując do dalszych analiz wariant oznaczony kolorem niebieskim. W związku z tym pojawia się pytanie: co zdecydowało o wyborze tej charakterystyki i jaki wpływ ma ten wybór na dokładność oszacowania oporów roboczych narzędzia sadzącego?
3. Na stronie 49 maszynopisu Doktorant przedstawił metodykę wyznaczania płynności zagłębiania narzędzia w glebie w warunkach laboratoryjnych. Proszę o doprecyzowanie znaczenia użytego w pracy terminu „płynność zagłębiania”, który nie stanowi ścisłego ani znormalizowanego pojęcia naukowego. Proszę również o odniesienie się do kwestii, w jakim stopniu wyniki pomiarów, uzyskane w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem jednorodnie przygotowanego podłoża, mogą być ekstrapolowane na rzeczywiste warunki terenowe, charakteryzujące się naturalną zmiennością zagęszczenia oraz wilgotności gleby.

Wyszczególnione powyżej błędy oraz stwierdzone uchybienia edytorskie i językowe nie są liczne w odniesieniu do objętości maszynopisu pracy doktorskiej i nie wpływają na czytelność przekazywanych treści, a tym samym na poziom merytoryczny rozprawy, nie pomniejszając jej wartości naukowej.

6. Końcowa ocena rozprawy doktorskiej

Opiniowana rozprawa naukowa mgr. inż. Michała Szarolety jako przedmiot rozprawy doktorskiej pod względem merytorycznym i formalnym nie budzi większych zastrzeżeń i w ocenie recenzenta stanowi samodzielny wkład Kandydata do nauki i praktyki. Doktorant osiągnął założone cele pracy, planując i realizując eksperyment w sposób zgodny z wymaganiami współczesnej metodologii badań naukowych, przy zastosowaniu metod odpowiadających aktualnemu poziomowi wiedzy w naukach empirycznych. Ważnym i istotnym element rozprawy jest przeprowadzona analiza potencjalnego wdrożenia narzędzia sadzącego.

Przyjęty w rozprawie sposób prezentowania wyników badań i ich analizy, pomimo zaprezentowanych powyżej krytycznych uwag, nie budzi większych zastrzeżeń i w większości przypadków jest poprawny. Analiza wyników badań jest prowadzona dość konsekwentnie, a treść rozprawy jest ułożona

poprawnie. Język rozprawy, poza kilkoma sytuacjami związanymi z błędami stylistycznymi i niedociągnięciami językowymi, jest poprawny i zrozumiały. Stwierdzam, że rozprawa doktorska nie zawiera istotnych błędów i niewłaściwych wyrażen, a podjęcie tematu badań przedstawionych przez Doktora, uważam za uzasadnione, z punktu widzenia naukowego, a przede wszystkim wdrożeniowego.

Oceniana dysertacja wskazuje na właściwe przygotowanie Kandydata do samodzielnego formułowania i rozwiązywania problemów naukowych i eksperymentalnych. Zakres rozwiązywanej problematyki jest wystarczający i pod tym względem rozprawę doktorską Pana mgr. inż. Michała Szarolety oceniam pozytywnie.

7. Wniosek końcowy

W podsumowaniu recenzji stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Michała Szarolety pod względem merytorycznym spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.) i może być podstawą do nadania stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Kandydat samodzielnie rozwiązał zadanie badawcze i wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną oraz kompetencjami wymaganymi dla uzyskania stopnia doktora nauk technicznych. W związku z powyższym stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o **przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Pana mgr. inż. Michała Szarolety do publicznej obrony rozprawy doktorskiej pt. „Wpływ konstrukcji i działania zespołu sadzącego na proces sadzenia drzewek z zakrytym systemem korzeniowym”**.

Piotr Markowski

