

Dr hab. inż. Stanisław Parafiniuk, prof. uczelni  
Katedra Eksploatacji Maszyn i Zarządzania  
Procesami Produkcyjnymi  
Wydział Inżynierii Produkcji  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Magistra Macieja Kiecany pt. „Określenie gęstości korony drzew jabłoni w czasie rzeczywistym”

### 1. Podstawa opracowania recenzji.

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, dra hab. inż. Macieja Zaborowicza, prof. UPP, z dnia 1 lutego 2022 roku (nr pisma WI-4000-3/2022).

### 2. Formalna ocena rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska została wykonana w 2021 roku w Katedrze Inżynierii Biosystemów, Wydziału Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Jerzego Weresa i promotora pomocniczego dra hab. Grzegorza Doruchowskiego.

Obejmuje łącznie 80 stron maszynopisu A4. Podzielona została na 7 rozdziałów głównych z podrozdziałami. Posiada typowy układ dla prac eksperymentalnych. Z analizy stanu wiedzy wynika cel i zakres pracy, które powiązane są ze sobą metodyką i prezentacją wyników badań. Wyniki badań przedstawiono w formie tabelarycznej, graficznej i opisowej. W końcowej części pracy zamieszczono wnioski oraz podjęto próbę wskazania kierunku przyszłych prac związanych z realizowaną tematyką badawczą. W pracy zamieszczono 29 tabel oraz 62 rysunki. W bibliografii wykazano właściwie dobraną literaturę w liczbie 44 pozycji. Literatura jest

aktualna i ściśle związana z tematyką pracy. Nie wnoszę żadnych zastrzeżeń do zastosowanego nazewnictwa, sformułowań i definicji.

### 3. Charakterystyka rozprawy

Cel pracy doktorskiej Pana Magistra Macieja Kiecany, zawarty w tytule, dotyczył określenia gęstości korony drzew jabłoni w czasie rzeczywistym. W pracy został postawiony problem naukowy, w którym zostało postawione pytanie: „Czy istnieje możliwość wytworzenia takiego systemu, który umożliwiłby na podstawie uzyskanych doświadczalnie informacji przeprowadzenie analizy i dokonanie znormalizowanej, indywidualnej oceny drzewostanu w sadzie?”.

Aby zrealizować założony cel naukowy, postawiono 4 pytania:

1. Jaki wpływ ma faza rozwojowa drzewa na wydajność modułu opartego na analizie obrazu?
2. Czy istnieje obecnie sprzęt o wystarczającej mocy obliczeniowej dla systemu czasu rzeczywistego, wykorzystującego stereowizję do analizy korony drzew w sadzie w czasie rzeczywistym?
3. Czy jest możliwe skalowanie wytworzonego systemu komputerowego w taki sposób, aby na pojedynczej platformie przeprowadzić analizę za pomocą kilku kamer stereowizyjnych?
4. W jaki sposób można wykorzystać badany system do wykonywania zabiegów agrotechnicznych w sadownictwie?

Z przeglądu literatury krajowej i zagranicznej wyłania się aktualny i ważny problem badawczy, na którym skupia się współcześnie nauka zajmująca się opracowywaniem nowych metod automatyzacji wielu procesów produkcyjnych, w tym również procesów redukcji rolniczej. Postępy – zarówno techniczny, jak i technologiczny umożliwią projektowanie maszyn i urządzeń opartych na elementach sztucznej inteligencji oraz analizy wielu zjawisk w czasie rzeczywistym. Niewątpliwie przedłożona praca wnosi element, który może być składnikiem rolnictwa precyzyjnego oraz systemu służącego do prowadzenia maszyn poruszających się w sadzie.

Celem pracy było określenie wpływu fazy rozwojowej drzewa na możliwość wykorzystania w sadzie algorytmów stereowizyjnej analizy obrazu do określenia gęstości korony drzew jabłoniowych oraz znalezienie takiej konfiguracji sprzętowej, która sprosta wymaganiom analizy danych w czasie rzeczywistym podczas zabiegów agrotechnicznych w sadzie.

Przedstawiony cel pracy był realizowany w trzech etapach. W pierwszym pozyskano kamery stereowizyjne TARA i opracowano program umożliwiający zapis na nośniku danych

materiału wideo w formie cyfrowej dla lewej i prawej kamery w celu późniejszej, wielokrotnej analizy. Dokonano również weryfikacji poprawności kalibracji kamery TARA, co jest bardzo istotne z punktu pozyskiwania wiarygodnych danych do analizy. Na tym etapie zaplanowano również metodykę pozyskiwania danych w postaci obrazów z rosnącego sadu w warunkach rzeczywistych.

W drugim etapie pozyskano materiał badawczy w postaci plików wideo z wykorzystaniem kamer TERA. Dane pozyskano dla każdej z faz rozwojowych drzew. W czasie pozyskiwania danych z kamer zamontowanych na poruszającej się platformie zebrano dane dotyczące położenia poruszającego się zestawu. Do tego celu wykorzystano rejestrator sygnału GPS.

Trzeci etap badań dotyczył wytworzenia obrazu 3D i sprawdzenia możliwości różnych konfiguracji sprzętowych tak, aby zaproponować odpowiednie rozwiązanie dla systemu wbudowanego działającego w czasie rzeczywistym. Aby dokonać analizy zebranych danych, został napisany program w języku C++ z wykorzystaniem biblioteki, Open CV. Na podstawie mapy głębi wytworzono mapę oprysku drzew. Wykorzystano różne rodzaje algorytmów uzyskiwania mapy głębi obrazu. Działanie poszczególnych algorytmów zostały przedstawione w kolejnych podrozdziałach. Badania eksperymentalne w sadzie zostały dokonane w czterech fazach rozwojowych sadu, którymi były: rozwój liści, rozwój kwiatostanu, kwitnienie oraz rozwój owoców dla odmian jabłoni Gal, Jonagold oraz Szampion. Zebrano również dane dotyczące natężenia światła podczas robienia zdjęć w czasie rzeczywistym.

#### **4. Merytoryczna ocena pracy**

Temat pracy został jasno sformułowany i całkowicie zrealizowany. W ramach analizy stanu wiedzy autor pracy dokładnie wyjaśnia zagadnienie przetwarzania równoległego danych graficznych i liczbowych w czasie rzeczywistym. W pierwszej części pracy przedstawiono wiele systemów i algorytmów wykonujących obliczenia na potrzeby przetwarzania obrazów, z wykorzystaniem procesorów wbudowanych w wydajne karty graficzne. Część przeglądu literatury stanowi omówienie zestawów optycznych stosowanych we współczesnych kamerach, które są bezpośrednim rejestratorem zbieranych danych w polu widzenia.

W pracy zostały przedstawione między innymi metody skanowania przestrzennego, metody triangulacji laserowej i skanowania wyznaczonych tras, z równoczesnym archiwizowaniem zebranych danych o obiektach. Wymienione metody pozwalają na opracowanie systemów sterownia, które mogą być wykorzystywane m.in. w maszynach rolniczych do prowadzenia maszyny wzdłuż charakterystycznych linii, np. granica łąnu, sterowanie elementami wykonawczymi w pielnikach. Znaczna część przeglądu literatury

poświęcona została systemowi VCA (ang. *Video Content Analytics*) – inteligentna analiza obrazu, która znalazła zastosowanie w wielu aspektach. Jest szeroko stosowana w przemyśle jako telewizja przemysłowa do wyszukiwania określonych obiektów lub rozpoznawania twarzy czy sylwetki. Wymienione systemy mają obecnie szerokie zastosowanie w życiu codziennym.

Głównym zagadnieniem, które zostało zaprezentowane w pracy, wynika z tematu podjętego zadania naukowego. Jest to wykorzystanie analizy obrazu do zastosowania rolniczego, czyli opryskiwania sadów jabłoni w różnych fazach wegetacyjnych. Dobrze zostały przedstawione zagadnienia dotyczące wykonywania zabiegów oprysku w sadach. Przedstawiono rodzaje opryskiwaczy i techniki oprysku stosowane w sadownictwie. Omówiono również wymagania prawne, które sadownicy muszą spełniać podczas zabiegu oprysku, oraz zagrożenia dla środowiska mogące wystąpić w jego trakcie z przyczyn zależnych i niezależnych od operatorów wykonujących te zabiegi. Omówiono wykorzystanie nowoczesnych technik elektronicznego sterowania opryskiwaczami stosowanych w opryskiwaczach opartych na różnego rodzaju sensorach, które sterują pracą opryskiwacza, np. poprzez włączanie i wyłączanie sekcji opryskowych tylko w tych miejscach, gdzie znajdują się drzewa. Stosowanie tego typu rozwiązań znacząco poprawia bezpieczeństwo dla środowiska, ogranicza zjawisko znoszenia cieczy i przyczynia się do oszczędności stosowanych pestycydów.

Uważam, że Doktorant w wystarczającym stopniu zapoznał się z piśmiennictwem dotyczącym problematyki prezentowanej pracy. Dało to podstawę do prawidłowego sformułowania celu pracy, problemu naukowo badawczego i głównych punktów realizacji założonego celu. Przeprowadzone badania mają charakter wielowątkowy, co ma odzwierciedlenie w przedstawionych wynikach badań.

Materiał badawczy został zebrany w sadzie jabłoniowym w warunkach rzeczywistych w czterech fazach rozwojowych drzew oraz w warunkach laboratoryjnych. Badania w warunkach laboratoryjnych pozwoliły na wybranie odpowiedniej kamery do badań terenowych i kalibracji zestawu stereowizyjnego, aby pozyskać dobrej jakości materiał do analizy.

Zapis pozyskanych danych z kamer był realizowany z wykorzystaniem autorskiego pakietu 3D Orchard Builder oraz aplikacji do wykonywania obliczeń napisanych w języku C++. Uważam to za znaczący wkład Autora pracy, co sprawia, że jej wyniki mają charakter użyteczny. Zebrany materiał został poddany obróbce, do czego wykorzystano dwa algorytmy obliczeniowe, a uzyskane wyniki porównano względem siebie.

Cennym elementem ocenianej pracy jest zastosowanie szerokiego zestawu dokonanych analiz w wymienionych fazach rozwojowych drzew. Wśród tych analiz możemy wymienić

wydajność systemu, czasu przetwarzania danych z wykorzystaniem dwóch rodzajów procesorów.

Dokonanie wymienionych w pracy analiz pozwoliło Autorowi na uzyskanie odpowiedzi na postawione pytania we wstępie dysertacji. Doktorant stwierdził, że obecnie istnieje możliwość stworzenia systemu, który będzie działał wydajnie niezależnie od fazy rozwojowej drzewa, a współczesna technologia zapewnia sprzęt o wystarczającej mocy obliczeniowej, aby proces analizy obrazów w czasie rzeczywistym przebiegał w sposób sprawny i ciągły. Uzyskane wyniki wskazują na to, że niezależnie od fazy rozwojowej drzew system działa stabilnie i może być wykorzystywany do sterowania pracą maszyn w czasie wykonywania zabiegów agrotechnicznych w sadzie. Zaproponowana konfiguracja sprzętowa jest odpowiednia do uzyskanych wyników kwalifikujących system do użytku w trakcie zabiegów agrotechnicznych w sadzie jabłoniowym.

## 5. Uwagi

Praca napisana jest poprawnym językiem w sposób przejrzysty i rzeczowy. Występują jednak błędy redakcyjne, które co prawda nie wpływają istotnie na merytoryczną jakość pracy, ale stwarzają pewne trudności w trakcie jej czytania. Mam jednak kilka uwag, które należałoby moim zdaniem usunąć w pracy przed dalszym etapem ewentualnego publikowania wybranych większych jej fragmentów.

- W większości tabel użyto bardzo małego rozmiaru czcionki, co sprawia duże trudności w czytaniu zawartych informacji. Sugeruję, aby zmniejszyć czcionkę o jeden lub dwa rozmiary, względem głównego tekstu pracy.
- Również w opisie rysunków zastosowano zbyt mały rozmiar czcionki, rys. 2; 3; 5; 53; 54 są prawie nieczytelne.
- Zamieszczone rysunki powinny być o wiele większe; także obrazy urządzeń wykorzystywanych w badaniach są również mało czytelne. Jakość prezentowanych zdjęć powinna być priorytetem, uwzględniając fakt, że praca dotyczy po części analizy obrazu.
- Rysunki 46 i 47 przedstawiają te same dane, został tylko zmieniony typ wykresu, rys. 46 jest to wykres liniowy, a rys. 47 to wykres słupkowy.
- Występują pewne błędy w formułowaniu zdań, np. ostatnie zdania z rozdziału 2.7, str. 14-15: *Ostatecznie do badań wykorzystana została kamera TARA, 15 pomimo faktu, że jej możliwości były znacząco mniejsze. Faktem, który przemawiał na jej korzyść była cena.* Str. 37 – bardzo długie zdanie celu pracy: *Celem pracy jest określenie wpływu fazy*

rozwojowej drzewa na możliwość wykorzystania w sadzie algorytmów stereowizyjnej analizy obrazu do określenia gęstości korony drzew jabłoniowych, jak również znalezienie takiej konfiguracji sprzętowej, która sprosta wymaganiom analizy danych w czasie rzeczywistym podczas zabiegów agrotechnicznych w sadzie zawartej w dyscyplinie inżynierii mechanicznej. Zdanie złożone, długie z niepotrzebnie wtrąconą informacją dotyczącą dyscypliny inżynierii mechanicznej. Niepotrzebnie jest również przedstawiona informacja w pierwszym zdaniu rozdziału 7.13. *Wnioski* (str. 74), wskazująca, że wiedza została pozyskana w dyscyplinie inżynierii mechanicznej. Str. 39 rozdziału 7.2, punkt pierwszy: *moduł akwizycji danych – jest to moduł służący do pobierania danych wejściowych, w przypadku mojego systemu oparty jest on na kamerze stereowizyjnej TARA*. Tego typu praca powinna być pisana w formie bezosobowej.

Podobna sytuacja ma miejsce w ostatnim akapicie rozdziału 3 str. 23-24: *z mojej perspektywy, w pracy wykorzystałem*.

- Proponuję, aby w tabelach od 12 do 16 dodać wielkość współczynnika zmienności prezentowanych danych, skoro zostały już przedstawione wartości średniej i odchylenia standardowego.
- Praca wymaga również dopracowania pod względem poprawności oznaczenia źródeł literatury, które były wykorzystywane w pracy. Np. odniesienie do literatury w tabeli 2, zastosowano aż trzy rodzaje nawiasów do jednego źródła.
- W spisie literatury zostały umieszczone 44 pozycje. Niestety nie znalazłem odniesienia w tekście do pozycji 41 i pozycji 43. Pozycja literatury o numerze 2 została zapisana z błędem, dwa razy podano rok publikacji.
- Uważam, że tego typu praca powinna zawierać liczniejsze pozycje bibliograficzne. Znajdujące się w spisie ilustracji źródła zasobów internetowych, z których wykorzystano zamieszczone rysunki, powinny się znaleźć w spisie literatury.
- Rozdział 7. *Metodyka badań* jest bardzo rozbudowany. Zamieszczono w nim aż 13 podrozdziałów z mniejszymi jeszcze podrozdziałami. Rozdział ten powinien być podzielony na metodykę badań, wyniki badań, analizę uzyskanych wyników oraz na dyskusję, której brakuje w pracy.

Większość ze wskazanych błędów i uchybień są to potknięcia redakcyjne, można je szybko i łatwo usunąć, a niektóre nieprawidłowości mają charakter dyskusyjny.

## 6. Wniosek końcowy

W mojej opinii przedłożona do recenzji rozprawa doktorska prezentuje zadowalający poziom naukowy. Dysertacja przedstawia analizę oryginalnych wyników badań terenowych i laboratoryjnych. Cechuje ją odpowiednio zaplanowane zadanie badawcze. W jego rezultacie stwierdzono, że możliwe jest stworzenie systemu, analizy obrazu w czasie rzeczywistym, który będzie mógł być wykorzystany w agrotechnice. Wykazano, że zaproponowany system przy mocach obliczeniowych komputerów stosowanych obecnie będzie działał wydajnie, niezależnie od fazy rozwojowej drzew.

Wykorzystane w dysertacji narzędzia analityczne i zastosowane metody są odpowiednie. Wyniki badań zaprezentowane w pracy cechuje aspekt nowości naukowej, a opracowane rozwiązanie posiada potencjał aplikacyjny.

Na tej podstawie stwierdzam, że praca Magistra Macieja Kiecany pt. „Określenie gęstości korony drzew jabłoni w czasie rzeczywistym” spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017r., poz. 1789). W związku z tym wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu o dopuszczenie Pana Macieja Kiecanę do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.

dr hab. inż. Stanisław Parafiniuk, prof. uczelni

*Stanisław Parafiniuk*

