

Prof. dr hab. Adam Figiel
Instytut Inżynierii Rolniczej
Wydział Przyrodniczo-Technologiczny
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Wrocław, 2026-07-14

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Jana Piecko**

**pt. „Wpływ zastosowania ultradźwięków na zawartość związków bioaktywnych i
właściwości reologiczne przetworów z wybranych owoców jagodowych”**

wykonanej w Zakładzie Przechowalnictwa i Przetwórstwa Owoców i Warzyw Instytutu
Ogrodnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego
pod kierunkiem dr hab. Moniki Mieszczakowskiej-Frąc, prof. IO

Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Oceniana rozprawa doktorska dotyczy problematyki związanej z wykorzystaniem ultradźwięków jako niskotemperaturowej obróbki wspomagającej proces przetwarzania owoców jagodowych wybranych gatunków roślin w celu zwiększenia wydajności procesu i polepszenia jakości gotowego produktu w aspekcie potencjału bioaktywnego i właściwości reologicznych. Jest to prawidłowe podejście metodyczne, sprzyjające transferowi wiedzy do przemysłu i uzyskaniu korzystnego efektu społecznego. Wysoki potencjał bioaktywny decyduje bowiem o walorach prozdrowotnych produktu spożywczego, a właściwości reologiczne wpływają na doznania sensoryczne konsumentów, decydujące o uwzględnieniu tego produktu w diecie. Budowanie diety w oparciu o zdrową i atrakcyjną pod względem sensorycznym żywność jest kluczowe z uwagi na konieczność przeciwdziałania rozwojowi chorób niezakaźnych wynikających z nieprawidłowego stylu życia i odżywiania. Stanowi to ważną alternatywę wobec zbyt komercyjnego podejścia producentów żywności, zachęcających do spożywania wysoko przetworzonych produktów o niskiej wartości odżywczej. Opracowana przez Doktoranta technologia przetwarzania wybranych owoców jagodowych umożliwia produkcję soków, przecierów i suszy o wysokiej zawartości substancji biologicznie czynnych. Dzięki temu produkty te można zaliczyć do żywności funkcjonalnej, wykazującej cechy nutraceutyków, których spożywanie sprzyja zdrowiu człowieka.

Rozprawa doktorska przygotowana przez Pana mgr. inż. Jana Piecko została przedstawiona do recenzji jako oryginalne opracowanie powstałe na podstawie spójnego tematycznie cyklu czterech publikacji:

- 1) Piecko, J.; Mieszczakowska-Frać, M.; Celejewska, K.; Szwejdą-Grzybowska, J. 2024. Impact of ultrasound pretreatment on juice yield and bioactive content in juice produced from selected berries fruit. *Foods*, 13, 1231,
- 2) Piecko J.; Mieszczakowska-Frać M.; Szwejdą-Grzybowska J.; Celejewska K. 2024. Wpływ rodzaju homogenizacji na właściwości reologiczne i zawartość związków bioaktywnych w mętym soku z truskawek. *ŻYWNOŚĆ. NAUKA. TECHNOLOGIA. JAKOŚĆ*, 31, 3(140), 171-185,
- 3) Piecko, J.; Mieszczakowska-Frać, M.; Celejewska, K.; Dickinson, N.; Szwejdą-Grzybowska, J. Effect of ultrasound-assisted convective drying on the content of bioactive compounds and drying rate of strawberry slices. *Appl. Sci.* 2025, 15, 8947,
- 4) Piecko, J.; Mieszczakowska-Frać, M.; Dickinson, N.J.; Wrzodak, A.; Celejewska, K.; Frøst, M.B.; Lange, B.; Dandanell, C.; Lewandowicz, J.; Jankowska, P. 2026. Ultrasound treatment in berry puree production: Effects on sensory, rheological, and chemical properties. *Molecules*, 31, 260.

Oceniane opracowanie składa się z ośmiu rozdziałów, przy czym nieujęte w spisie treści załączniki stanowią poszczególne pozycje cyklu publikacji, które wykazano w rozdziale 1. Pozostałe części pracy, czyli rozdziały: 2) Wprowadzenie i przegląd literatury, 3) Cel pracy i hipotezy badawcze, 4) Zakres pracy, 5) Materiał badawczy i metody badań, 6) Dyskusja wyników i osiągnięć cyklu publikacji, 7) Stwierdzenia i wnioski oraz 8) Spis literatury, są ze sobą właściwie powiązane i występują w odpowiedniej kolejności.

Treść opracowania zawarta jest na 54 ponumerowanych stronach maszynopisu. Doktorant powołał się na 84 pozycje bibliografii, głównie anglojęzyczne, dobrane adekwatnie do zakresu pracy. Ponad 40% tych pozycji pochodzi z ostatnich pięciu lat, co świadczy o śledzeniu najnowszych osiągnięć i dbałości o nowatorski charakter opracowania, które jest napisane zrozumiałym i poprawnym językiem naukowym, z prawidłowym umieszczeniem odnośników do cytowanej literatury. Tytuł opracowania odpowiada treści zawartej w poszczególnych pozycjach składających się na cykl publikacji. Suma punktów MNiSW wynosząca 360, przy łącznej wartości wskaźnika IF=12,2, potwierdza dużą wartość naukową ocenianego cyklu publikacji. Publikacje te ukazały się w latach 2024 – 2026, stanowiąc aktualne osiągnięcie naukowe Doktoranta, który jako pierwszy współautor pełnił dominującą rolę w ich powstaniu, zgodnie z oświadczeniami pozostałych współautorów.

Ocena merytoryczna

W przeglądzie literatury Doktorant przedstawił dane dotyczące wielkości produkcji owoców jagodowych w Polsce w odniesieniu do Unii Europejskiej, sygnalizując w ten sposób konieczność ich racjonalnego zagospodarowania. Z kolei przedstawienie budowy morfologicznej tych owoców jest uzasadnione potrzebą zrozumienia procesów fizycznych zachodzących podczas ich przetwarzania. Szczególna uwaga została poświęcona opisowi właściwości prozdrowotnych owoców jagodowych, co stanowi podstawę do dyskusji wyników dotyczących retencji związków biologicznie czynnych narażonych na degradację pod wpływem warunków procesowych. Doktorant, omawiając główne kierunki przetwarzania owoców jagodowych, przedstawił problem badawczy dotyczący konieczności ograniczenia redukcji zawartości związków bioaktywnych oraz poprawy wydajności przez skrócenie czasu obróbki technologicznej. Biorąc pod uwagę najnowsze osiągnięcia niekonwencjonalnych technologii produkcji żywności, zaproponował rozwiązanie przedstawionego problemu w oparciu o wykorzystanie ultradźwięków. W konsekwencji przytoczył definicję oraz charakterystykę ultradźwięków, aby na podstawie doniesień literaturowych wyjaśnić mechanizm ich działania w różnych zastosowaniach technicznych, ze szczególnym uwzględnieniem procesów technologicznych stosowanych w przemyśle spożywczym. Najwięcej uwagi poświęcił przy tym produkcji soków i przecierów oraz procesowi suszenia, wykazując potencjalne korzyści i ograniczenia wspomagania ultradźwiękowego tych operacji jednostkowych. Mianowicie zauważył, że potencjalnym korzyściom związanym ze zwiększeniem retencji związków bioaktywnych i poprawą właściwości reologicznych może towarzyszyć trudność przeskalowania procesu do warunków przemysłowych oraz niekorzystny bilans ekonomiczny spotęgowany wysokimi kosztami inwestycyjnymi.

W związku z powyższym uzasadniony jest cel badań dotyczący oceny wpływu ultradźwięków stosowanych podczas produkcji przecierów, soków i suszu z wybranych owoców jagodowych na zawartość związków bioaktywnych i właściwości reologiczne tych produktów. Uwzględnienie w celach szczegółowych także wpływu gatunku owoców jagodowych i ich odmian sprawia, że rozprawa doktorska o charakterze interdyscyplinarnym może być oceniana w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo, mimo że przyczynia się również do rozwoju dyscypliny technologia żywności i żywienia. Sformułowanie trzech hipotez badawczych podnosi wartość naukową rozprawy, przy czym pierwsza z nich wymaga doprecyzowania, czy modyfikacja właściwości reologicznych soku otrzymywanego przy zastosowaniu ultradźwięków jest korzystna, biorąc pod uwagę walory sensoryczne. Z kolei

druga hipoteza wymaga uściślenia, że wspomaganie ultradźwiękami także dotyczy suszenia konwekcyjnego.

Percepcji treści opracowania sprzyja klarowne zaprezentowanie zakresu rozprawy doktorskiej przy użyciu tabeli, przedstawiającej nazwy czterech zadań badawczych wraz z syntetycznym opisem zakresu badań, specyfikacją materiału badawczego i przypisaniem ich do poszczególnych pozycji cyklu publikacji. Ich spójność wynika z tego, że trzy z nich powstały w efekcie implementacji zadań badawczych projektu „QualityBerry” pt. „Improving plant quality and economy for a more sustainable and efficient berry production”, realizowanego w ramach Norweskiego Mechanizmu Finansowego na lata 2014–2021. Czwarta publikacja była natomiast rezultatem projektu „HortiFoodTrends” pt. „Networking for excellence in the development of innovative, consumer oriented horticultural food products using the Living Lab approach”, finansowanego w ramach programu HORIZON-WIDERA-2023-ACCESS-02. Oba projekty łączy nie tylko problematyka badawcza, ale także wykorzystanie surowca doświadczalnego, zakupionego od lokalnych producentów w okresie realizacji badań w latach 2020–2024.

W badaniach eksperymentalnych wykorzystano cztery gatunki owoców jagodowych, dzięki czemu możliwe było wykazanie ich podatności na obróbkę przy użyciu ultradźwięków, zmierzającą do poprawy efektywności przetwarzania. W przypadku truskawek dodatkowo uwzględniono trzy odmiany, co umożliwiło ocenę wpływu odmiany na uzyskane wyniki. Nie jest jednak jasny wybór konkretnych odmian reprezentujących maliny, czarną porzeczkę i jagodę kamiczacką. Użycie dwóch rodzajów stanowisk do sonikacji – w postaci homogenizatora ultradźwiękowego umożliwiającego bezpośrednie przekazywanie energii do próbki oraz generatora ultradźwiękowego przeznaczonego do generowania pola akustycznego w powietrzu – jest uzasadnione technologią pozyskiwania soków i przecierów oraz warunkami prowadzenia suszenia konwekcyjnego. Należy przy tym zwrócić uwagę na niepoprawne użycie terminu „promiennik” w odniesieniu do generatora (przetwornika) ultradźwięków, ponieważ zjawisko promieniowania dotyczy propagacji fal elektromagnetycznych. W anglojęzycznej publikacji przedłożonego do recenzji cyklu użyto poprawnego terminu „przetwornik ultradźwiękowy” (*ultrasonic transducer*).

Na uwagę zasługuje czytelne przedstawienie procedury przetwarzania owoców w postaci umiejętnie zaprojektowanych schematów blokowych, zawierających kluczowe informacje dotyczące chronologii poszczególnych operacji technologicznych, zastosowanych parametrów procesowych oraz wykonanych analiz jakościowych i statystycznych. W przypadku wytwarzania soku z owoców malin, czarnych porzeczek i truskawek osiągnięcie

optymalnej temperatury 55°C przez masę rozdrobnionych owoców wynikało z obróbki ultradźwiękowej albo podgrzewania w łaźni wodnej. Mimo dużej liczby kombinacji procesowych być może warto było rozważyć osiągnięcie założonej temperatury w sposób hybrydowy – uwzględniający zarówno obróbkę ultradźwiękową, jak i podgrzewanie w łaźni wodnej. Wykorzystanie maszyny wytrzymałościowej do tłoczenia soku w warunkach laboratoryjnych jest uzasadnione możliwością sterowania tym procesem. Informacja o czasie jego trwania, wynoszącym 15 minut, jest jednak zbyt lakoniczna. Nie uwzględnia ona bowiem różnych scenariuszy, takich jak prędkość przemieszczania się głowicy tensometrycznej czy podział całkowitej deformacji masy owocowej na etapy zakończone chwilowym zatrzymaniem głowicy w celu zmniejszenia naprężenia.

Z drugiej strony, w badaniach dotyczących oceny skuteczności homogenizacji ultradźwiękowej i wysokociśnieniowej soku truskawkowego Doktorant prawidłowo uwzględnił wpływ intensywności obu metod przez zróżnicowanie mocy ultradźwięków, czasu ich stosowania oraz poziomu ciśnienia. Z kolei podczas wyznaczania wpływu sonikacji na kinetykę suszenia i właściwości fizykochemiczne wysuszonych owoców dwóch odmian truskawek wykorzystano materiał, który po zbiorze został zamrożony. Jest to zrozumiałe w związku z potrzebą dysponowania surowcem o takich samych właściwościach, czemu nie sprzyja mała trwałość owoców i długotrwałość eksperymentów suszarniczych. Szkoda jednak, że nie podjęto próby wysuszenia świeżych owoców truskawek choćby w jednym wariantcie odmianowym, aby ocenić wpływ sonikacji na materiał biologiczny, którego struktura komórkowa nie została uszkodzona w rezultacie mrożenia. Poza tym, o ile wiadomo, że podczas tradycyjnego suszenia konwekcyjnego temperatura suszonych plastrów truskawek zbliżała się do temperatury czynnika suszącego wraz z ubytkiem wody, o tyle nie wiadomo, jaką temperaturę osiągnęły plastry truskawek podczas suszenia wspomaganego ultradźwiękami. W przypadku badania wpływu sonikacji na wydajność przecierania oraz na zawartość składników bioaktywnych i właściwości reologiczne uzyskanych przecierów Doktorant zastosował optymalne podejście metodyczne. Polegało ono na uwzględnieniu kilku wariantów różniących się momentem zastosowania ultradźwięków względem operacji przecierania owoców jagody kamczackiej oraz na wykorzystaniu jednego z tych wariantów w przypadku przecierania owoców truskawek, a także mieszaniny z różnym udziałem obu rodzajów owoców.

Ważnym elementem rozprawy doktorskiej, decydującym o jej wartości naukowej i znaczeniu utylitarnym, jest dyskusja uzyskanych wyników. Doktorant przeprowadził ją skrupulatnie w oparciu o aktualne doniesienia literaturowe, tym samym przyczyniając się do

poszerzenia wiedzy na temat przetwarzania owoców jagodowych z wykorzystaniem ultradźwięków.

W przypadku pozyskiwania soku na szczególną uwagę zasługuje stwierdzenie, że skuteczność stosowania ultradźwięków jako alternatywnej lub wspomagającej metody wstępnej obróbki pulpy owocowej – wyrażona zwiększeniem zarówno wydajności tłoczenia, jak i ekstraktywności wybranych związków bioaktywnych – zależy od właściwości technologicznych przetwarzanego surowca uwarunkowanych budową morfologiczną. Świadczą o tym korzyści wynikające z całkowitego zastąpienia maceracji enzymatycznej owoców malin lub truskawek obróbką ultradźwiękową, podczas gdy owoce czarnej porzeczki bezwzględnie wymagały obróbki enzymatycznej. Warto przy tym podkreślić wnikliwość Doktoranta podczas wyjaśniania wpływu zastosowania ultradźwięków na zmiany zachodzące na poziomie molekularnym, prowadzące w konsekwencji do ukształtowania korzystnego profilu związków bioaktywnych w soku z malin.

Doktorant wykazał również skuteczność obróbki ultradźwiękowej w homogenizacji mętnego soku z truskawek tłumacząc istotę tego korzystnego faktu zmniejszeniem wielkości cząstek, co sprzyja zwiększeniu lepkości ograniczającej zjawisko sedymentacji, a w konsekwencji poprawie stabilności zawiesiny.

Na szczególną uwagę zasługuje omówienie wyników dotyczących suszenia plastrów truskawek dwóch odmian. Doktorant prawidłowo przedstawił różnice w kinetyce suszenia spowodowane zastosowaniem ultradźwięków, jednak ze zbyt dużą ostrożnością podszedł do wyjaśnienia przyczyn tych rozbieżności. Przytaczał głównie doniesienia opisujące skuteczność sonikacji w określonych fazach suszenia w zależności od rodzaju surowca. Choć zwrócił uwagę na głębokość penetracji ultradźwięków w powiązaniu ze zmieniającą się w trakcie suszenia grubością plastrów, to nie podjął dyskusji zmierzającej do wyjaśnienia zjawisk zachodzących w strukturze komórkowej, które sprzyjają dyfuzji wody. Doktorant słusznie zauważył, że najistotniejszymi czynnikami degradacji związków bioaktywnych w żywności są czas ekspozycji materiału na działanie temperatury oraz tlenu zawartego w powietrzu podczas procesu przetwarzania. O ile w dyskusji wyników przeprowadzonej w ramach publikacji skoncentrował się jedynie na czasie suszenia, o tyle we wnioskach trafnie zwrócił uwagę na konieczność kontroli temperatury suszonego materiału, która mogła być wyższa w przypadku zastosowania ultradźwięków. W rezultacie korzyści związane ze skróceniem czasu ekspozycji suszonego surowca na działanie tlenu zawartego w powietrzu mogły zostać zniwelowane przez wyższą temperaturę. To z kolei mogło spowodować brak istotnego wpływu sonikacji na retencję kwasu askorbinowego. W tym kontekście niezwykle

wartościowe jest wykazanie przez Doktoranta przeciwnych konsekwencji działania ultradźwięków na retencję związków fenolowych w suszu owoców różnych odmian. W przypadku odmiany „Florence” zaobserwowano mniejszą, a w przypadku odmiany „Alba” większą zawartość związków fenolowych w porównaniu z próbkami kontrolnymi, uzyskanymi bez wspomagania ultradźwiękowego. Z kolei wyższa temperatura suszonego materiału mogła doprowadzić do zwiększenia potencjału bioaktywnego u obu odmian poprzez uformowanie tzw. produktów reakcji Maillarda. Wykazują one zdolność zmiatania wolnych rodników, czym sprzyjają zwiększeniu aktywności przeciwutleniającej.

Do istotnego osiągnięcia Doktoranta w kontekście tematu rozprawy doktorskiej należy zaliczyć wyniki dotyczące wpływu momentu zastosowania ultradźwięków na jakość przecierów z owoców jagody kamczackiej i truskawek. Doktorant wykazał, że zastosowanie ultradźwięków przed procesem przecierania owoców jagodowych prowadzi do korzystnych efektów technologicznych związanych z wydajnością, właściwościami reologicznymi oraz jakością gotowego produktu, co ma duże znaczenie aplikacyjne. Z kolei uzasadnienie związku między rozkładem wielkości cząstek, właściwościami mikroreologicznymi i atrybutami sensorycznymi podnosi wartość naukową osiągnięcia, które w znaczny sposób przyczynia się do poszerzenia wiedzy w zakresie wytwarzania przecierów owocowych.

Analiza wyników badań przedstawionych w poszczególnych pozycjach ocenianego cyklu publikacji pozwoliła Doktorantowi sformułować 12 wniosków, będących syntetyczną reprezentacją najważniejszych osiągnięć o charakterze naukowym i aplikacyjnym. Należy zgodzić się z Autorem, że do jego głównych osiągnięć należy zaliczyć wykazanie kluczowego znaczenia momentu zastosowania ultradźwięków dla jakości przecieru owocowego. Przede wszystkim istotne jest jednak stwierdzenie możliwości wdrożenia technologii ultradźwiękowej jako efektywnego narzędzia wspomagającego procesy przetwórstwa owoców jagodowych, prowadzącego do poprawy jakości, wartości funkcjonalnej oraz atrakcyjności rynkowej gotowych produktów.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana praca doktorska autorstwa Pana mgr. inż. Jana Piecko dotyczy aktualnego i ważnego problemu związanego z wykorzystaniem ultradźwięków jako niskotemperaturowej obróbki wspomagającej proces przetwarzania owoców jagodowych. Zastosowanie tej metody służy zwiększeniu wydajności procesu i polepszeniu jakości gotowego produktu w aspekcie walorów prozdrowotnych i właściwości reologicznych związanych z akceptacją konsumencką, co ma kluczowe znaczenie w kontekście

pozytywnego oddziaływania na społeczeństwo. Przedstawienie aktualnego stanu wiedzy pozwoliło Autorowi prawidłowo sformułować cel pracy, który został rzetelnie zrealizowany w oparciu o bogaty warsztat metodyczny. Badania o charakterze interdyscyplinarnym pozwoliły uzyskać wyniki znacznie poszerzające wiedzę naukową w zakresie rolnictwa i ogrodnictwa, ale także w obszarze technologii żywności i żywienia w odniesieniu do produktów na bazie owoców jagodowych przetworzonych z wykorzystaniem ultradźwięków. Wyniki te, mając duże znaczenie poznawcze, mogą być wykorzystane w praktyce do optymalizacji procesu przetwórstwa owocowego. Doktorant podczas realizacji pracy wykazał umiejętność formułowania i rozwiązywania problemów naukowych w oparciu o znaczny zasób wiedzy i bogaty warsztat badawczy. Został on wzbogacony doświadczeniem nabytym w ramach innych osiągnięć naukowych, do których można zaliczyć m.in. 13 artykułów niewchodzących w skład ocenianego cyklu publikacji, staże odbyte w kraju i za granicą, udział w licznych konferencjach potwierdzony 27 doniesieniami, współautorstwo dwóch ofert wdrożeniowych i jednego wniosku patentowego, udział w realizacji 15 projektów naukowych, a także ukończone szkolenia.

Konkludując, stwierdzam, że przedłożona rozprawa doktorska w pełni spełnia wymogi opisane w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.). Przedłożoną do recenzji rozprawę oceniam bardzo wysoko i wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Ogrodnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego o dopuszczenie Pana mgr. inż. Jana Piecko do dalszych etapów przewodu doktorskiego oraz o wyróżnienie tej pracy z uwagi na wysoki poziom merytoryczny, rozwiązanie istotnych problemów naukowych z wykorzystaniem oryginalnego podejścia metodycznego i znaczne wzbogacenie wiedzy w ramach nauk rolniczych.

