

Dr hab. inż. Bogusława Łapczyńska-Kordon, prof. UR
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki
Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Weroniki Tulej
pt. „Potencjał materiałowo-energetyczny wytlóków z jablek”,
wykonanej w Instytucie Inżynierii Mechanicznej, w Katedrze Podstaw Inżynierii i Energetyki
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, pod kierunkiem dr hab. inż.
Szymona Głowackiego (promotora)

Recenzja została wykonana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Podstawa prawna: art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003 Nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami) oraz w przepisach zmieniających ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce 3 lipca 2018 roku (Dz. U. Z 2018 r. pozycja 1669).

Uzasadnienie podjęcia tematu

Podjęta tematyka w przedłożonej do recenzji pracy jest aktualna i powiązana z zagadnieniami ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju gospodarczego. Postępujący na całym świecie rozwój gospodarczy i postęp technologiczny, wzrost konsumpcji powoduje, że wzrasta ilość odpadów stałych, ciekłych i gazowych, które przyczyniają się do niszczenia otaczającego środowiska. Stanowią też duże zagrożenie dla zdrowia ludzkiego i innych żywych organizmów. Dlatego w ostatnich latach prowadzone są liczne badania nad poszukiwaniem efektywnych metod zagospodarowania tych odpadów. Jednym z takich zagadnień badawczych są odpady stałe, zwłaszcza pochodzące z procesów produkcyjnych, między innymi z przetwórstwa spożywczego. Tematyka pracy dotyczy zagadnień związanych z przetwórstwem owocowo-warzywnym i jak zauważa Doktorantka, największy udział w opadach poprodukcyjnych mają wytloki, będące pozostałością po mechanicznym wytłaczaniu soku, zwłaszcza jabłkowego. Wykorzystanie tych wytlóków jako półproduktu do dalszego przetwarzania nie jest efektywne. Najczęściej stosowaną metodą ich utylizacji jest wywożenie na składowisko odpadów, co powoduje zanieczyszczenie gleby i wody gruntowej, w efekcie degradacji środowiska i problemy zdrowotne.

Jak wskazują badania, wytloki jabłkowe są wartościowym półproduktem do dalszego wykorzystania na cele spożywcze, paszowe i energetyczne. Ze względu na różne odmiany

jabłek istotne jest poznanie właściwości fizyko-chemicznych, termofizycznych wytlóków powstających podczas produkcji soków, które umożliwi wskazanie efektywnego sposobu ich wykorzystania.

Dlatego zasadne jest podjęcie tematyki związanej z badaniem właściwości fizycznych, termofizycznych, jakościowych wytlóków świeżych i po suszeniu, aby wskazać optymalny sposób ich wykorzystania, jako surowca do wytwarzania produktów, czy na cele spożywcze lub zdrowotne, czy energetyczne.

Ocena formalna pracy

Przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską stanowi spójny tematycznie zbiór trzech publikacji, w formie oryginalnych prac twórczych w języku angielskim z lat 2020, 2022. Oryginalne prace twórcze zostały opublikowane w dwóch czasopismach wymienionych w części A wykazu czasopism Ministerstwa Edukacji i Nauki (MEiN) i posiadające współczynnik wpływu *Impact Factor* (IF). *Applied Sciences* (IF=2.838), *Materials* (IF=3.748) oraz jeden artykuł w monografii *In: Wróbel, M., Jewiarz, M., Szlęk, A.(eds) Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation. Spronger Proceedings in Energy. Springer, Cham*. Całkowita suma za publikacje naukowe, według wykazu czasopism naukowych MEiN, wynosi 260 pkt-ów, a ich sumaryczny IF, według bazy *Journal Citation Reports* (JCR), jest równy 6.586.

Rozprawa składa się z części, w której Doktorantka zawarła opis badań przedstawionych w publikacjach stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej, które uzupełniła informacjami na temat danych pomiarowych otrzymanych z dodatkowych badań nad kinetyką suszenia mikrofalowo-próżniowego i właściwościami badanego materiału, ale nie opublikowanymi, a w następnej części zostały zamieszczone pełne teksty tych artykułów i oświadczenia współautorów.

Część opisowa ma formę typowej dysertacji doktorskiej. Przedstawiona została na 63 stronach i składa się z siedmiu rozdziałów: *Wprowadzenie* (3 str.), *Cel i zakres pracy* (1 str.), *Metodyka* (9 str.), *Wyniki* (29 str.), *Wnioski* (2 str.), *Bibliografia* (5 str.), *Załączniki* (1 str.).

Artykuły wchodzące w zakres rozprawy doktorskiej, to prace współautorskie (w pierwszym z artykułów jest pięciu autorów, w pozostałych - dwóch autorów). Przyjęty układ rozprawy przez Panią mgr inż. Weronikę Tulej jest logiczny i nie budzi zastrzeżeń.

Złożone oświadczenia współautorów publikacji wchodzących w zakres rozprawy doktorskiej, potwierdzają znaczący udział Doktorantki w ich opracowaniu (w pierwszej publikacji – 40%, w pozostałych - 90%). Na podstawie oświadczeń współautorów w publikacjach, dołączonych do opracowania można stwierdzić, że Doktorantka w szerokim zakresie uczestniczyła w konceptualizacji, przygotowaniu, prowadzeniu badań i ich opracowaniu. Uważam, że udział innych autorów w publikacjach świadczy o umiejętności współpracy w zespole badawczym pani mgr inż. Weroniki Tulej.

W mojej ocenie rozprawa ta stanowi opracowanie naukowe o charakterze doświadczalno-teoretycznym, w której w cyklu publikacji przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań, wzbogacających rozwój wiedzy na temat właściwości fizykochemicznych, energetycznych wyłoków z jabłek świeżych i po suszeniu oraz modelowania kinetyki procesu suszenia, jako metody konserwacji wyłoków, przeprowadzając analizę zjawisk przenoszenia masy pomiędzy suszonym materiałem a otaczającym czynnikiem suszącym oraz dyfuzyjne przenoszenie masy wewnątrz materiału z wykorzystaniem opracowanych modeli strukturalnie podobnych. Aspekt użyteczny tej pracy, to pomierzone właściwości materiałowe oraz określenie modelu matematycznego uproszczonego do optymalizacji i sterowania procesem suszenia, a także przykładowa analiza kosztów i efektywności suszenia wyłoków jabłkowych.

Ocena merytoryczna

Przedstawiona do recenzji rozprawa przedstawia możliwości wykorzystania wyłoków jabłkowych, poprzez określenie ich właściwości fizykochemicznych (świeżych i po suszeniu), wyjaśnienie przebiegu procesu suszenia i wpływu na ich właściwości oraz efektywności produkcji suszu z tych wyłoków.

Problem badawczy został sformułowany przez mgr inż. Weronikę Tulej na podstawie dość obszernej analizy literatury z zakresu podjętej tematyki w rozprawie doktorskiej (w części opisowej 69 pozycji literatury z zakresu tematyki przedstawionej w rozprawie w języku polskim i angielskim, jak również liczne pozycje literatury w każdej z publikacji stanowiącej cykl do rozprawy doktorskiej). Przesłanki do podjęcia tematyki badawczej Doktorantka przedstawiła przede wszystkim w publikacjach naukowych z cyklu stanowiącego podstawę rozprawy doktorskiej, jak też we *Wstępie* opisu badań. Informacje zawarte we *Wstępie* opisu badań oraz w cyklu publikacji wchodzących w zakres rozprawy doktorskiej, stanowią poprawne uzasadnienie podjętego problemu badawczego, biorąc pod uwagę, że każda z

opublikowanych prac zawiera wstęp odnoszący się do literatury przedmiotu. Przedstawiając dokonania w zakresie badań nad właściwościami fizyko-chemicznymi, termofizycznymi, jakościowymi wyłoków jabłkowych, analizą teoretyczną i aspektami aplikacyjnymi ich procesu suszenia w literaturze światowej, Doktorantka podjęła próbę wskazania problemów badawczych do tej pory nie rozwiązanych.

Mgr inż. Weronika Tulej stwierdza, że surowe wyłoki jabłkowe mogą być wykorzystane na cele energetyczne, spożywcze i przemysłowe – np. jako źródło energii, dodatek do pasz, do produkcji opakowań biodegradowalnych, lecz brak pełnych informacji dotyczących właściwości fizyko-chemicznych i jakościowych tego materiału oraz wiedzy dotyczącej efektywności odwadniania tego surowca.

Na podstawie tak pozyskanej wiedzy Doktorantka sformułowała dwa problemy badawcze: pierwszy - „wyznaczenia modeli kinetyki procesu suszenia, w zależności od wybranej metody” drugi – „określenie wpływu temperatury i metody suszenia na wybrane właściwości materiałowo-energetyczne wyłoków jabłkowych”.

Uważam, że tak sformułowane problemy badawcze spełniają w wystarczającym zakresie wymagania ustawowe dotyczące oryginalnego rozwiązania problemu naukowego.

Doktorantka, w czytelny i poprawnie pod względem formalnym, przedstawiła problemy badawczy w ogólnym celu pracy i celach szczegółowych. Ogólnym celem pracy „było poznanie potencjału materiałowo-energetycznego wyłoków jabłek”, a więc przeprowadzenie takich badań, które umożliwiłyby realizację celu i wyjaśnienie oraz odpowiedź na sformułowany problem badawczy w zakresie, jaki jest możliwy na bazie aktualnie dostępnych metod badawczych. Realizacja szczegółowych celów pracy została przedstawiona w kolejnych publikacjach stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej.

W publikacji pierwszej (Jaros Małgorzata, Gniado Albert, Golisz Ewa, Głowacki Szymon, **Tulej Weronika: Efficiency of Industrial Drying of Apple Pomace**. In: Wróbel, M., Jewiarz, M., Szlęk, A. (eds) *Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation*. Springer Proceedings in Energy. Springer, Cham., 2020, 113-122) Doktorantka realizowała pierwszy szczegółowy cel - analizę efektywności ekonomicznej zakładu suszarniczego. Następny cel szczegółowy, analiza wpływu metod suszenia oraz podstawowych parametrów procesu na przebieg procesu, weryfikacja matematycznych modeli kinetyki

suszenia wyłoków, został przedstawiony w publikacji 2 (**Tulej Weronika**, Głowacki Szymon: **Modeling of the Drying Process of Apple Pomace**. *Applied Sciences*, 2022, 12, 1434). Pozostałe dwa cele szczegółowe, termiczną analizę metodami DSC i TGA oraz określenie podstawowych właściwości materiałowych, takich, jak: ciepło spalania, barwa, gęstość właściwa, aktywność wody, właściwości antyoksydacyjne, zawartość fenoli Doktorantka zawarła w trzeciej publikacji (**Tulej Weronika**, Głowacki Szymon: **Analysis of Material – Charakterization Properties of Post-Production Waste – The Case of Apple Pomace**. *Materials*. 2022, 15, 3532) i w podsumowaniu opisującym cykl publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej, w którym przedstawiła uzupełniające badania właściwości o zawartość popiołu.

Dla zrealizowania celu badawczego, w przedstawionym zakresie pracy, Doktorantka poprawnie zaplanowała i przeprowadziła doświadczenia wykorzystując ogólnie znane metody badawcze oraz opracowała matematyczne modele badanych procesów suszenia wyłoków jabłkowych. Modele matematyczne konwekcyjnego suszenia wyłoków w warunkach konwekcji wymuszonej w warstwie nieruchomej i złożu fontannowym opracowała na bazie modeli strukturalnie podobnych, wyprowadzonych dla materiałów wysoko uwodnionych i kurczliwych dla pierwszego okresu suszenia powierzchniowej wymiany masy oraz drugiego okresu – dyfuzyjnego przenoszenia masy dla celów poznawczych. Natomiast dla celów praktycznych modelowała badane procesy suszenia w oparciu o proste modele empiryczne.

Według przyjętego scenariusza wykonała badania wybranych właściwości fizycznych i chemicznych oraz termofizycznych, a także kinetyki suszenia wyłoków jabłkowych suszonych badanymi metodami, w celu identyfikacji parametrów modeli i ich walidacji.

Ponieważ wyłoki z jabłek są materiałem niejednorodnym, składającym się ze stałych cząstek i cieczy, mgr inż. Weronika Tulej dokonała analizy frakcyjnej i ilości otrzymanego soku dla sześciu odmian. Przypuszczam, że ta analiza miała na celu scharakteryzowanie materiału przeznaczonego do suszenia, ponieważ pomiar właściwości materiałowych odnosił się do wyłoków zmieszanych. Opracowane modele poddała walidacji za pomocą średnich błędów względnych i bezwzględnych oraz określiła ich poprawność. Ponadto przeprowadziła analizę współczynników początkowej szybkości suszenia i współczynnika suszarniczego, na podstawie, której stwierdziła, że są zgodne „z teorią suszarniczą”. W mojej ocenie takie stwierdzenia jest zbyt odważne, bo teoria, to zbiór aksjomatów, twierdzeń, hipotez odnoszących się do różnych aspektów danego zagadnienia. Należy podkreślić, że bardzo cennym było

przedstawienie przez Doktorantkę uproszczonego modelu kinetyki suszenia dla celów praktycznych, optymalizacji i sterowania procesem suszenia. Najlepiej, według niej, proces kinetyki suszenia dla każdego z badanych przypadków opisywał model Page'a, którego dokładność równie oceniła za pomocą błędów: względnego i bezwzględnego.

Wykonane badania właściwości fizycznych, chemicznych i termofizycznych, jakościowych oraz analiza termiczna świeżych, poddanych suszeniu i suchej ich substancji wskazują ogólnie możliwości wykorzystania wyłoków na cele spożywcze, zdrowotne, a przede wszystkim energetyczne. Szeroka analiza termiczna metodami DSC i TGA, umożliwiła mgr inż. Weronice Tulej identyfikację związków, które decydują o przebiegu termicznego przetwarzania wyłoków jabłkowych, zwłaszcza w odniesieniu do zawartości wody w materiale oraz reakcji egzotermicznych i endotermicznych. To dało możliwość ogólnej oceny zawartości celulozy, hemicelulozy i pektyn, które decydują o procesie kinetyki termicznego przetwarzania, a pektyny mają znaczenie w przemyśle spożywczym. Ponadto na podstawie tej analizy można określić, jaka zawartość wody w materiale daje możliwość uzyskania optymalnego efektu energetycznego podczas termicznego przetwarzania oraz można określić przebieg kinetyki termicznego przetwarzania. Stąd zasadne były badania właściwości fizyko-chemicznych i termofizycznych oraz opracowanie modeli opisujących proces suszenia wyłoków różnymi metodami, żeby w przyszłości w oparciu o obliczenia symulacyjne zaprojektować optymalny system procesu suszenia wyłoków o określonych właściwościach, umożliwiającą uzyskanie dobrej efektywności produkcyjnej i energetycznej. Doktorantka przedstawiła przykładową analizę efektywności zakładu suszarniczego, którą można by wykorzystać do zaprojektowania systemu wykorzystującego różne źródła energii, w tym alternatywnej (odnawialne źródła energii, fale elektromagnetyczne, czy energię odpadową) w np. układach hybrydowych.

Na podstawie otrzymanych wyników badań i przeprowadzonej analizy Doktorantka stwierdza zastosowanie metody suszenia w warunkach konwekcji wymuszonej jest odpowiednią formą termicznej konserwacji tego materiału, by uzyskać produkt o dobrej jakości, na co wskazują badane właściwości fizyko-chemiczne. Uważa też, że suszarki konwekcyjne są prostymi urządzeniami o dużej wydajności, nie wymagającymi dodatkowych urządzeń wspomagających, które zwiększają energochłonność procesu. Zaproponowane modele teoretyczne powierzchniowej wymiany masy i dyfuzyjnego przenoszenia masy wewnątrz materiału, dla badanych metod i parametrów suszenia, są poprawne. Ponadto empiryczny model Page'a , jako model, który można wykorzystać np. do sterowania procesem,

dobrze opisuje procesy konwekcyjnego suszenia, bez wspomagania mikrofal. Uważa też, że efektywność zastosowanej technologii suszenia można zwiększyć stosując odpowiednie źródło energii.

Zatem przeprowadzone badania, wyniki i ich analiza oraz interpretacja, a także dyskusja w odniesieniu do danych literaturowych, pozwala na stwierdzenie, że problem badawczy został rozwiązany. Zatem cel ogólny tej rozprawy oraz cele szczegółowe w poszczególnych publikacjach stanowiących spójną tematycznie całość rozprawy doktorskiej, w pełni zrealizowano w założonym zakresie.

Uważam, że niewątpliwym osiągnięciem Doktorantki jest takie zaplanowanie, opracowanie metodyki badań, które umożliwiły określenie sposobu wykorzystania wyłoków jabłkowych. Analiza kinetyki suszenia jako sposobu konserwacji tego materiału, opracowane modele matematyczne pokazały, jak przebiega proces wymiany masy i w powiązaniu z badanymi właściwościami wyłoków dają możliwość wyboru optymalnej metody i parametrów suszenia oraz zwiększenia efektywności tego procesu. Ponadto szeroka analiza termiczna metodami DSC i TGA umożliwiła poznanie przebiegu przemian w materiale podczas nagrzewania, a tym samym pozyskaniu wiedzy o termicznym przetwarzaniu na cele energetyczne.

Lektura recenzowanej rozprawy nasuwa jednak pewne pytania i uwagi do opracowania opisującego badania prezentowane w poszczególnych publikacjach.

1. Czy były podjęte próby sformułowania modeli procesu suszenia wyłoków w oparciu o prawa nauki, prawo Ficka, z odpowiednimi warunkami brzegowymi, czy opis tego procesu na bazie modeli wyprowadzonych z zachowania masy i energii dla nieruchomej warstwy porowatej lub pojedynczych cząstek w warstwie fluidalnej? Modele te umożliwiają też uwzględnienie kurczliwości, ale też zmianę właściwości fizycznych i termofizycznych suszonych materiałów.

2. Pełny opis kinetyki suszenia odnosi się również do zmian temperatury materiału i szybkości suszenia. Uwzględnienie tego w modelach pozwoliłoby na szerszą interpretację procesów zachodzących podczas suszenia.

3. Jakim kryterium kierowano się przy doborze parametrów w badanych metodach suszenia (temperatura, szybkość przepływu czynnika suszącego, moc mikrofal)?

4. Moim zdaniem ocena przydatności wyłoków na podstawie tylko ciepła spalania i zawartości popiołu i wilgotności materiału jest bardzo ograniczona. Ocena przydatności

użytkowej biomasy na cele energetyczne jest dokonywana, co najmniej, na podstawie analizy technicznej i elementarnej (pierwiastkowej). Analiza techniczna obejmuje wyznaczenie zawartości popiołu, części lotnych, wilgotności oraz ciepła spalania i wartości opałowej, a elementarna zawartość pierwiastka węgla, wodoru, siarki, tlenu i azotu w powiązaniu z zawartością popiołu i wilgoci nie związanej, jako balastu.

5. Właściwości fizyczne były określone na podstawie gęstości właściwej. Moim zdaniem zabrakło pomiaru gęstości usypowej suchego materiału, właściwości termofizycznych takich, jak: współczynnik przewodności cieplnej i ciepło właściwe, które mają duże znaczenie w bilansowaniu i ocenie energetycznej procesu suszenia.

6. Nie podano dokładności pomiarów ani analizy błędów pomiarowych odnoszących się do pomiaru właściwości materiału metodami pośrednimi. Uważam, że brakuje też szerszego komentarza do wyników analizy statystycznej, o której wspomina Doktorantka na str. 27 części w podsumowaniu opisującym cykl publikacji stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej.

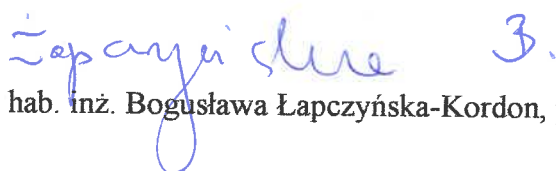
Uwagi te nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy, która w znaczny sposób poszerza wiedzę na temat właściwości materiałowych wytlóków jabłkowych oraz ich konserwacji poprzez suszenie. Należy podkreślić, że Doktorantka wykazała się dobrym opanowaniem techniki redakcji tekstów naukowych, biorąc pod uwagę edytorskie przygotowanie rozprawy, jak i prac wchodzących w skład cyklu publikacji.

Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Weronika Tulej dotyczy naukowego zagadnienia, właściwego dla obszaru nauk technicznych i dyscypliny inżynieria mechaniczna. Doktorantka wykazała się wystarczającą wiedzą i umiejętnościami dojrzałego badacza, a uzyskane efekty mają istotne znaczenie poznawcze i aplikacyjne. Uważam, że zamierzony cel został osiągnięty, a rezultaty badań pozwalają na stwierdzenie, że problem naukowy został rozwiązany w sposób oryginalny.

Uwzględniając powyższe uwagi, oceniam, że rozprawa doktorska mgr inż. Weroniki Tulej spełnia wymagania *Ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz stopniach i tytułach w zakresie sztuki* (Dz. U. Nr 65z dn. 14 marca 2003 r., poz. 595) i wnoszę do Wysokiej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie o przyjęcie oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Kraków, 29.09.2022 r.


Dr hab. inż. Bogusława Łapczyńska-Kordon, prof. UR