

Skierniewice, 20 maja 2022 r.

Prof. dr hab. Dorota Konopacka  
Zakład Przechowalnictwa  
i Przetwórstwa Owoców i Warzyw  
Instytut Ogrodnictwa – PIB  
Skierniewice

**Recenzja** rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny Karoliny Kroehnke  
pt. „**Ultradźwiękowe wspomaganie procesów suszenia żywności**”  
wykonanej na Wydziale Technologii Chemicznej  
pod kierunkiem prof. dr hab. Grzegorza Musielaka  
promotor pomocniczy dr hab. inż. Elżbieta Radziejewska-Kubzdela

Recenzja przygotowana na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Poznańskiej z dnia 22 marca 2022 r. (pismo Dziekana Wydziału Technologii Chemicznej, prof. dr hab. Ewy Kaczorek).

Utrwalanie żywności z wykorzystaniem metody suszenia to najstarszy sposób przedłużenia okresu przydatności konsumpcyjnej produktów zawierających dużo wody, które po zbiorach szybko przejrzały i ulegały zepsuciu. Pomimo upływu czasu i postępu techniki suszenie żywności nieustannie jest przedmiotem dociekań naukowców poszukujących efektywnych i niskoenergetycznych sposobów suszenia, które pozwolą nie tylko na zabezpieczenie surowca przed zepsuciem mikrobiologicznym, ale także zachowanie jego walorów prozdrowotnych. Od ponad dwóch dekad w środowisku suszarniczym olbrzymie nadzieje wiąże się z hybrydowym sposobem suszenia, w którym metoda klasyczna suszenia konwekcyjnego wspomagana jest dodatkowymi źródłami energii, w tym energią ultradźwięków. Wybór tematu przedstawionej rozprawy doktorskiej bardzo dobrze wpisuje się w aktualne trendy badań nad potencjałem dla wykorzystania hybrydowych metod suszenia z uwzględnieniem technik pro środowiskowych, do jakich zalicza się ultradźwięki. W niniejszej rozprawie Doktorantka za swój obszar badawczy wybrała wspomaganie ultradźwiękowe procesu suszenia żywnościowe produktów roślinnych o zróżnicowanej budowie morfologicznej.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska ma formę monografii składającej z części teoretycznej oraz metodycznej. Praca została przygotowana w formie maszynopisu książki i liczy 180 stron. Część metodyczna poprzedzona jest rozdziałem w którym przedstawiono Cel i zakres pracy a całość opracowania kończy rozdział zawierający Podsumowanie i wnioski, w którym zestawiono najważniejsze obserwacje z poczynionych eksperymentów jednostkowych. Praca ma niestandardowy dla rozpraw doktorskich układ części metodycznej w zakresie Omówienia badań i ich dyskusji, gdyż każdy z eksperymentów zaplanowany dla sześciu różnych gatunków owoców i warzyw ma swoją odmienną metodykę oraz oddzielną interpretację i dyskusję wyników, co sprawia wrażenie braku spójności w dążeniu do założonego celu pracy. W pracy zamieszczono 89 rysunków, z czego ponad 50 stanowią

wykresy prezentujące wyniki własne, oraz, 24 tabele dla których przyjęto bardzo nietypową numerację utrudniającą analizę prezentowanych wyników. Praca posiada bardzo bogatą, liczącą 330 pozycji bibliografię, w znaczącej części anglojęzyczną, aktualną i dobrze ilustrującą omawiane i analizowane zagadnienia. Praca została zaopatrzona w streszczenie w języku polskim i angielskim. Doktorantka zamieściła też w pracy wykaz swojego dotychczasowego dorobku naukowego, potwierdzając doświadczenie w publikowaniu oryginalnych prac w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, posiadających współczynnik Impact Factor.

Część teoretyczną przedstawionej mi do recenzji rozprawy rozpoczyna Spis oznaczeń ułatwiający czytelnikowi zapoznanie się z treścią przekazywanych informacji. Na kolejnych stronach opracowania Doktorantka przybliży podstawowe pojęcia związane z procesem suszenia i jego rodzajami, a w szczególności suszenie z wykorzystaniem mikrofal, które według danych literaturowych powinno pozwalać na uzyskiwanie synergistycznych efektów energetycznych przy hybrydowym wykorzystaniu razem z energią fal ultradźwiękowych. Doktorantka dużo uwagi poświęca również charakterystyce ultradźwięków oraz sposobom ich generowania na potrzeby zastosowań w doświadczeniach suszarniczym, gdyż ten rodzaj wspomaganie procesu suszenia nadal pozostaje w fazie eksperymentalnej. Wyniki prac nad implementacją energii ultradźwiękowej oraz ich różnymi technikami generowania i przekazywania do medium suszącego i samego suszonego materiału, w szczególności do termowrażliwych biomatryc tkanki owoców i warzyw stanowi bardzo bogatą sferę publikacyjną. Fakt ten znalazł odzwierciedlenie w tekście w postaci dwóch bardzo obszernych Tabel (jedna dla badań prowadzonych na świecie z wykorzystaniem mikrofal, a druga z wykorzystaniem ultradźwięków). Opis teoretyczny uzupełniają informacje na temat aktualnych trendów w modelowaniu hybrydowego procesu suszenia tkanki roślinnej oraz informacje na temat specyfiki surowców – gatunków – wybranych przez Doktorantkę jako surowiec do prac eksperymentalnych.

Cel i zakres pracy został określony w sposób bardzo ogólny. W jego ramach sformułowano trzy hipotezy badawcze, zakładające pozytywny wpływ ultradźwięków na zwiększenie intensywności wymiany masy zarówno w trakcie wstępnej obróbki osmotycznej jak i właściwego procesu suszenia, a także istnienie związku pomiędzy stężeniem roztworu osmotycznego a jakością otrzymywanych suszy owocowych i warzywnych.

W celu zweryfikowania postawionych hipotez Doktorantka przeprowadziła sześć różnych eksperymentów analizując za każdym razem inny surowiec. Przyjęty bardzo szeroki zakres badań oraz zróżnicowanie metodyczne niestety niekorzystnie wpłynęło na przejrzystość uzyskiwanych wyników dla poszczególnych kombinacji. Również niedosyt pozostawia sposób zaprezentowania właściwej metodologii doświadczeń, w których Doktorantka tylko ogólnie opisała sposób prowadzenia doświadczeń oraz pobieżnie przedstawiła wybrane metody analityczne wykorzystywane do porównywania jakości uzyskiwanych kombinacji doświadczalnych. W przedstawionej metodologii pominięto zupełnie kwestię identyfikacji źródeł zmienności. Brak jest też informacji na temat wykonanych powtórzeń technologicznych oraz sposobu charakteryzowania surowca pod względem zmienności wewnątrz odmianowej, co jest kluczowe dla uzyskiwanych wyników, na przykład w przypadku miąższu dyni zwyczajnej. W metodyce nie podano również sposobu identyfikowania stopnia dojrzałości

analizowanych surowców, co z kolei może w sposób istotny statystycznie wpływać na przykład na przebieg suszenia tkanki jabłka. W odniesieniu do charakterystyki stosowanych stanowisk pomiarowych w metodologii nie podano zakresu zmienności stosowanych parametrów procesowych oraz sposobu kontroli kluczowych mierników. Brak tych informacji uniemożliwia na przykład odniesienie się do danych z tabeli 13 ze str. 86, z której wynika, że w trakcie suszenia konwekcyjnego tkanki jabłek, ich powierzchnia nagrzewała się do temperatury wyższej niż temperatura powietrza użytego w procesie. Moją wątpliwość budzi też fakt wybrania przez Doktorantkę do analizy statystycznej jednokierunkowej analizy wariancji, co znacznie zawężyło możliwość wnioskowania na temat uzyskanych, bardzo interesujących wyników.

Pomimo wspomnianych niedoskonałości w założeniach oraz braku szeregu informacji w części metodycznej, Doktorantka w swoich eksperymentach uzyskała bardzo wiele nowych i wartościowych pod względem poznawczych wyników. Interakcje pomiędzy biometryką a energią ultradźwięków, pomimo dostępności bardzo bogatej literatury światowej w tym zakresie, wciąż pozostają polem do prac optymalizacyjnych. Ze względu na złożoność chemiczną matrycy, zmieniającą się w trakcie procesów dojrzewania w sposób dynamiczny i zazwyczaj nieliniowy, bardzo trudno jest przewidzieć efekt tych oddziaływań. Podjęta w pracy próba wykorzystania modeli matematycznych do oszacowania udziału poszczególnych rodzajów energii, wykorzystywanych w analizowanym procesie hybrydowym, w przenoszeniu masy jest bardzo ciekawym przyczynkiem do dalszej zaawansowanej analizy. Tego typu podejście na poziomie nauk podstawowych do wyjaśnienia mechanizmów przenoszenia masy, jest niezbędne dla zrozumienia tychże mechanizmów oraz poszukiwania źródeł synergii, które będą mogły być w przyszłości wykorzystane do doskonalenia techniki suszenia tak istotnego w punktu widzenia kształtowania cech jakościowych np. żywności spersonifikowanej.

W omówieniu uzyskanych wyników badań na szczególną uwagę zasługują uwzględnione w rozprawie aspekty energochłonności procesu. Doktorantka dowiodła, że kluczowym dla obniżenia zużycia energii całkowitej w procesie suszenia jest skrócenie okresu jego trwania, co w badanych eksperymentach było możliwe dzięki zastosowaniu energii mikrofalowej. Szkoda, że uzyskane wyniki wyrażono jedynie procentowo, gdyż przeliczenie ich na jednostkę odparowanej wody z materiału miałoby wymiar uniwersalny i umożliwiłoby ich wykorzystanie jako wartości referencyjnych dla innych zespołów badawczych.

Doktorantka analizując jakość i bezpieczeństwo mikrobiologiczne uzyskiwanych przez siebie produktów suszonych odnosiła się do poziomu aktywności wody, odnosząc uzyskiwane wartości do zawartości krytycznej 0,6. Szkoda, że dysponując tak bogatym materiałem doświadczalnym nie odniosła wartości  $a_w$  do zawartości wilgotności końcowej próbek w ramach danego surowca, gdyż ta prosta zależność mogłaby zilustrować różnice w stanie wiązania wody na poziomie zbliżonym do monowarstwy, odzwierciedlając ewentualne zmiany generowane przez energię mikrofalową, ultradźwiękową czy stosowane czynniki osmotyczne na poziomie mikrostruktury. Zastosowanie tego typu analizy mogłoby zainspirować Doktorantkę do przeprowadzenia dyskusji wyników na bardziej zaawansowanym poziomie.

Przeprowadzone prace doświadczalne oraz analiza ich wyników pozwoliła Doktorantce na sformułowanie szeregu szczegółowych wniosków odnoszących się do indywidualnych analizowanych przypadków. Wnioski te w większości pozostają w zgodzie z tendencjami opisywanymi już w literaturze, jednak jak wspomniałam wcześniej interakcje pomiędzy tkankami roślinnymi a energią ultradźwiękową mają tak złożony mechanizm, że praktycznie dla każdego przypadku ich potencjalny efekt musi być zweryfikowany indywidualnie. Zadanie to staje się szczególnie trudne w przypadku surowców o dużym zróżnicowaniu wewnątrztkankowym. Doktorantka pracując na aż sześciu gatunkach - jabłka, ziemniaki, buraki czerwone, kiwi, dynia i marchew, potwierdziła, że każdy z tych surowców w inny sposób odpowiada na zastosowane warunki procesowe. Tym samym dostarczyła do aktualnej wiedzy cały szereg cennych informacji, które zapewne w niedalekiej przyszłości zadecydują o przydatności lub zarzuceniu wspomagania ultradźwiękowego w procesach suszenia żywności.

Wśród sformułowanych wniosków jako najbardziej wartościowe uważam punkty dotyczące wpływu struktury suszonej tkanki na efekty intensyfikacji wymiany masy, skrócenia czasu trwania procesu suszenia oraz udokumentowany efekt zmniejszenia energochłonności przez zastosowanie technik hybrydowych. Doktorantka wskazała tkankę warzyw twardych, w przypadku niniejszej pracy były to burak czerwony i marchew, jako znacznie mniej podatne na ultradźwięki, w odróżnieniu od tkanek bardziej porowatych takich jak ziemniak czy jabłko. W podsumowaniu swojej rozprawy Doktorantka ustosunkowała się do postawionych przez siebie hipotez badawczych, wskazując jako determinant efektywności wspomagania procesów żywności ultradźwiękami zmienność surowcową.

**Podsumowując, oceniana rozprawa doktorska jest obszernym opracowaniem monograficznym dotyczącym wpływu ultradźwięków na przebieg suszenia żywności pochodzenia roślinnego z uwzględnieniem ich wpływu na energochłonność oraz zachowanie cech jakościowych i prozdrowotnych dla wybranych gatunków owoców i warzyw. Opracowanie to wnosi nowe informacje w dziedzinie nauk chemicznych i może przyczynić się do rozwoju wiedzy w zakresie doskonalenia hybrydowych technik suszenia surowców tkankowych zawierających znaczące ilości składników bioaktywnych.**

### Wniosek końcowy

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Kroehnke pod tytułem „Ultradźwiękowe wspomaganie procesów suszenia żywności” w pełni spełnia wymagania określone w art. 14 ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz. U. z 2017 r., poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Chemicznej Wydziału Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.