dr hab. inż. Hanna Kowalska, prof. uczelni
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Instytut Nauk o Żywności
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa
e-mail hanna_kowalska@sggw.edu.pl
tel.: +48 22 5937565

Warszawa, dn. 16.05.2022 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Joanny Karoliny Kroehnke, pt.:

Ultradźwiękowe wspomaganie procesów suszenia żywności

przygotowana pod kierunkiem naukowym:

Promotora: prof. dr hab. inż. Grzegorza Musielaka

Promotora pomocniczego: dr hab. inż. Elżbiety Radziejewskiej-Kubzdela

1. Podstawą formalną przygotowania przedmiotowej recenzji jest zlecenie Dziekana Wydziału Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej w Poznaniu; pismo z dnia 22.03.2022 r.
2. Aktualność wyboru tematu i umiejscowienie tematyki badawczej

Tematyka rozprawy doktorskiej została właściwie wybrana i wpisuje się w najnowsze trendy badań w obszarze dyscypliny Nauki Chemiczne. Obok wykorzystania nowoczesnych technologii w produkcji żywności wysoko przetworzonej, obecnie prowadzonych jest wiele badań w różnych ośrodkach naukowych w Polsce i na świecie, które są ukierunkowane na zwiększenie wartości odżywczej i prozdrowotnej, a jednocześnie dąży się do zwiększenia efektywności procesów wobec konieczności obniżenia ich energochłonności w kierunku produkcji zrównoważonej. Dlatego praca ma ogromną wartość i zalicza się do ważnego trendu badań innowacyjnych odpowiadających na zainteresowanie przemysłu spożywczego, jak i konsumentów poszukujących produktów wysokiej jakości. Nowe rozwiązania przetwórstwa surowców roślinnych z wykorzystaniem obróbki ultradźwiękowej mogą znaleźć zastosowanie w większej skali, u producentów suszonych owoców i warzyw. Jak podkreśliła Doktorantka, jakość produktów otrzymanych z surowców roślinnych jest coraz bardziej istotna, również ze względu na silną konkurencję na rynku europejskim i światowym. Ważnymi elementami tworzenia przewagi konkurencyjnej jest możliwość produkcji w skali przemysłowej produktów o powtarzalnych właściwościach. Podjęcie badań z zastosowaniem ultradźwięków znajduje tu szczególne uzasadnienie, zwłaszcza do poprawy dynamiki procesów, zarówno suszenia jak i osmotycznego odwadniania surowców roślinnych.

Stosowanie rozwiązań technologicznych z użyciem ultradźwięków stwarza wiele korzyści

w aspekcie jakości uzyskanych suszy, wynikających m.in. z możliwości obniżenia temperatury suszenia i osmotycznego odwadniania, jak i ekonomicznych, poprzez skrócenie czasu trwania procesów wytwarzania suszy. Dlatego w pracy podjęto próbę określenia wpływu ultradźwięków na suszenie konwekcyjne, konwekcyjno-mikrofalowe oraz zastosowanie ultradźwięków do wstępnego odwadniania osmotycznego jak i suszenia końcowego wybranych surowców roślinnych. Ważnym aspektem była jakość otrzymanych suszy. Jak podała Doktorantka, materiał badawczy został wybrany z uwzględnieniem zróżnicowania struktury związanej z budową morfologiczną, porowatością materiału, jak i zawartości składników o wysokim potencjale bioaktywnym. Dlatego w badaniach wstępnych wykorzystano 3 odmiany jabłek, Lobo, Ligol i Rubin oraz buraki czerwone. Natomiast do badań zasadniczych użyto ziemniaki odmiany Denar, marchew zwyczajną, owoce kiwi i dynię zwyczajną.

Układ pracy

Przedmiotem recenzji jest 180 stronicowe opracowanie, w tym na początku pracy zawarto streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wstęp, a na końcu zestawienie dorobku naukowego (strony 155-156) oraz źródła literaturowe (strony 157-180). Nieznacznie zmniejszona wielkość czcionki i odstępy międzywierszowe częściowo tuszują obszerność pracy.

Analizując strukturę podziału treści, zasadnicza część pracy została podzielona na 7 nienumerowanych rozdziałów: „Wstęp", „Część teoretyczna", „Cel i zakres pracy", „Część metodyczna", „Podsumowanie i wnioski", „Wykaz dorobku naukowego" oraz „Literatura". W tekście pracy wyodrębniono też ważny nienumerowany rozdział „Wyniki badań i ich dyskusja".

Część teoretyczna (literaturowa) została podzielona na 5 rozdziałów, „Opis oznaczeń", „Suszenie", „Efektywność suszenia", „Modelowanie procesu suszenia", „Charakterystyka materiału badawczego". **Część metodyczna** została podzielona na 2 rozdziały: „Stanowisko badawcze", „Metody pomiaru jakości produktu".

W ramach **omówienia wyników badań ujęto 6 kolejnych rozdziałów:** „Efektywność suszenia różnych odmian jabłek", „Efektywność suszenia buraka ćwikłowego", „Efektywność suszenia ziemniaka", „Efektywność suszenia marchwi zwyczajnej", „Efektywność suszenia kiwi po odwadnianiu osmotycznym", „Efektywność suszenia dyni zwyczajnej po odwadnianiu w roztworze binarnym". Każdy z rozdziałów 8-13 zakończono „Podsumowaniem i wnioskami". W kolejnej części **„Podsumowanie i wnioski"** bardzo obszernie przedstawiono podsumowanie wszystkich wyników i zestawiono najważniejsze wnioski.

Dokumentacja i analiza graficzna obejmuje 88 rysunków i 24 tabele. Spis piśmiennictwa (rozdział „Literatura") wynika z kolejności cytowanych źródeł, składa się z 330 pozycji zestawionych na 24 stronach.

Ocena pracy

Treść i zakres rozprawy odpowiada tytułowi. Układ formalny pracy jest poprawny. Treść pracy jest merytorycznie spójna, a kolejne rozdziały są ze sobą powiązane. Konstrukcja pracy jest poprawna, tytuły rozdziałów i podrozdziałów oddają ich treść i omawiane zagadnienia. Wprowadzenie numeracji głównym rozdziałom mogłoby nadać pracy nieco więcej przejrzystości. Ujęte w spisie oryginalne źródła naukowe literatury krajowej i zagranicznej są dość starannie dobrane pod względem merytorycznym. Świadczą o dobrej orientacji Autorki w zakresie podjętej problematyki badawczej. Praca jest napisana poprawnym językiem.

Streszczenie w języku polskim i angielskim obejmuje dość syntetyczne zestawienie informacji o zakresie podjętych badań odnośnie wpływu ultradźwięków na suszenie konwekcyjne, konwekcyjno-mikrofalowe oraz odwadnianie osmotyczne wybranych surowców. Zwrócono uwagę na korzyści technologiczne wynikające ze skrócenia czasu suszenia wynikającego z użycia ultradźwięków. Wykazano, że zastosowanie ultradźwięków wpływa na zwiększenie efektu suszenia/osmotycznego odwadniania, prowadząc do większego obniżenia wilgotności materiału w stosunku do prób kontrolnych, ale w różnym stopniu wpływa na właściwości fizykochemiczne, np. skutkuje obniżeniem zawartości składników prozdrowotnych.

W 1-stronicowym **wstępie** Autorka przedstawiła znaczenie historyczne suszenia w utrwalaniu żywności. Wskazała najważniejsze aspekty badań prowadzonych z zastosowaniem suszenia, wymieniając jakość produktu oraz efektywność procesu wobec względów ekonomicznych i ochrony środowiska. Podkreśliła, że kierunki rozwoju nowych technik suszenia dyktowane są potrzebami coraz bardziej świadomych konsumentów odnośnie wpływu żywienia na ich zdrowie. W ten sposób uzasadniła potrzebę prowadzenia badań dotyczących określenia wpływu działania ultradźwięków na suszenie i osmotyczne odwadnianie surowców roślinnych.

Część teoretyczna (literaturowa) zajmuje około 66 stron tekstu podzielonego na 5 rozdziałów. W rozdziale „**Suszenie**" opisano mechanizm usuwania wody w wyniku transferu ciepła i masy oraz scharakteryzowano wybrane metody suszenia, tj. konwekcyjne, z wykorzystaniem mikrofal oraz ultradźwięków. Uwzględniono czynniki istotne w suszeniu materiałów wrażliwych na wysoką temperaturę. Wskazano wady i zalety suszenia surowców o różnym składzie i wilgotności. Opisano wnikanie ciepła podczas przepływu czynnika grzejnego wokół materiału suszonego. Przedstawiono rozwiązania techniczne w suszeniu konwekcyjnym i mikrofalowym. Wyjaśniono zasadę działania mikrofal, zwracając uwagę na czynniki mające wpływ na efektywność suszenia i jakość uzyskanych suszy, zależnie od podatności surowcowej, zwłaszcza właściwości dielektrycznych i warunków suszenia. Przedyskutowano przykłady zastosowania omawianych technik suszenia różnych surowców w dostępnej literaturze. Pomimo

wielu korzyści, wskazano, że wpływ mikrofal na wiele badanych wskaźników nie był jednoznaczny. Wykazano m.in. obniżenie zawartości niektórych związków fenolowych i aktywności antyoksydacyjnej. Jednakże, jak wskazała Autorka, niektórych negatywnych skutków suszenia mikrofalowego można uniknąć poprzez zastosowanie odpowiednich warunków procesu, szczególnie poprzez dobór mocy mikrofal i czasu ich ekspozycji na materiał.

Szczegółowo, w 2 rozdziałach, w tym w 6 podrozdziałach, wyjaśniono mechanizm działania ultradźwięków i ich obecne zastosowanie. Ta część pracy została przedstawiona na około 20 stronach i wzbogacona informacjami teoretycznymi z zależnościami wyrażonymi wzorami, 10 rysunkami i rozbudowaną, około 6-stronicową, tabelą stanowiącą zestawienie źródeł literaturowych dotyczących udziału ultradźwięków wspomagających różne metody suszenia wybranych owoców i warzyw. Autorka wskazała zalety działania ultradźwięków w procesie suszenia żywności, ale też pewne wady, zwłaszcza przy wstępnej obróbce osmotycznej. Należy podkreślić, że w tym rozdziale Autorka zaprezentowała aktualny stan wiedzy z zakresu ściśle związanego z tematyką rozprawy. Omówiła szereg ważnych informacji, m.in. oddziaływanie ultradźwięków na materiał biologiczny podczas suszenia oraz jako obróbki wstępnej. Przedstawiono też wiele rozwiązań technicznych w suszeniu wspomaganym ultradźwiękami. Zdaniem recenzenta zagadnienia te może mogłyby być nieco bardziej ze sobą powiązane i przedyskutowane z przykładowymi badaniami, które zestawiono w bardzo obszernej tabeli.

W rozdziale „**Efektywność suszenia**" dość szczegółowo opisano wskaźniki istotne w ocenie jakości suszonych produktów, takie jak parametry barwy, aktywność wody, zdolność do rehydracji, oznaczania zawartości związków bioaktywnych, a także zdolności antyoksydacyjnej żywności zawierającej naturalne związki o charakterze przeciwutleniającym. Omówiono również zagadnienia związane z energochłonnością procesów w przetwórstwie żywności, wskazując kierunki rozwiązań mających na celu ograniczenie zapotrzebowania na energię, zwłaszcza podczas suszenia żywności. W rozdziale „**Modelowanie procesu suszenia**" omówiono cel i metody modelowania suszenia. Obszernie przedstawiono charakterystykę materiału badawczego, tj. surowców wykorzystanych w „badaniach wstępnych" (jabłka odmian Lobo, Ligol i Rubin oraz buraki czerwone), a także ziemniaki odmiany Denar, marchew zwyczajną, kiwi oraz dynię zwyczajną, które zastosowano do „badań zasadniczych".

Informacje zamieszczone w części teoretycznej są niezbędne do podjęcia dyskusji nad wynikami pracy, dlatego stanowią integralną część rozprawy. Ta część pracy jest dość obszerna, zawiera 11 tabel i 31 rysunków obrazujących różne schematy i mechanizmy, które w sposób metodyczny wyjaśniają omawiane zagadnienia. Zdaniem recenzenta przydatne mogłoby być podsumowanie przeglądu literatury. Jakkolwiek z treści wynika potrzeba

prowadzenia szczegółowych badań w kierunku zastosowania innowacyjnych metod suszenia ze wspomaganiem ultradźwiękowym i oceny ich wpływu zarówno na poprawę efektywności procesu jak i jakość suszy.

W części „**Cel i zakres pracy**" prawidłowo sfomułowano cel pracy i postawiono hipotezy. Opisano plan badawczy wyszczególniając zakres badań wstępnych i zasadniczych. Ocenę wpływu ultradźwięków na suszenie/osmotyczne odwadnianie podzielono na badania pozwalające ocenić efektywność procesu oraz badania związane z oceną wybranych wskaźników jakości suszy, w tym retencji składników o potencjale bioaktywnym.

Kolejna „**Część metodyczna**" (eksperymentalna) stanowi około 6 stron (rozdziały 6 i 7). Na początku przedstawiono 2 stanowiska badawcze, którymi były termiczna komora do obróbki osmotycznej oraz suszarka hybrydowa wyposażona w ultradźwięki i mikrofale. Brakuje trochę przejrzystości w strukturze pracy, w pierwszej kolejności omówiono stanowisko do osmotycznego odwadniania, następnie suszenia, gdy temat suszenia był najważniejszy w pracy. Może dołączenie graficznego z wydzieleniem etapów realizowanych badań wzbogaciłby i lepiej zobrazowało część badawczą. Następnie opisano metody przeprowadzonych oznaczeń analitycznych, które posłużyły do oceny jakości suszy. Według recenzenta można było tu dodać niektóre informacje, które znalazły się w innej części pracy, np. o przygotowaniu materiału badawczego, rodzajach i stężeniach roztworów osmotycznych, temperaturze obróbki osmotycznej i inne. Do podrozdziału „Oznaczanie parametrów biochemicznych" dołączono analizę statystyczną wyników. Zdaniem recenzenta, analizę statystyczną można było wyodrębnić tak, by obejmowała też inne wyniki przeprowadzonych oznaczeń.

Wyniki badań i ich dyskusja to kolejna część pracy obejmująca 65 stron (rozdziały 8-11). Na początku wszystkich rozdziałów tej części pracy omówiono sposób przygotowania surowca (stopień rozdrobnienia i wielkość próbki) oraz warunki suszenia i osmotycznego odwadniania. Zdaniem recenzenta, by zwiększyć klarowność pracy te informacje mogłyby być przeniesione do części metodycznej.

W pierwszych czterech rozdziałach omówiono efekty badań wstępnych, które dotyczyły suszenia konwekcyjnego z udziałem ultradźwięków (wszystkie surowce, w tym kiwi i dynia po wstępnym odwadnianiu osmotycznym) oraz dodatkowo wspomaganego mikrofalami (buraki czerwone i marchew). Stosowano zróżnicowane warunki suszenia, jak poniżej:

- temperatura 45°C (jabłka, marchew), 50°C (buraki czerwone, ziemniaki, dynia), 60°C (kiwi),
- prędkość powietrza 3,5 m/s (jabłka), 5 m/s (buraki czerwone), 4 m/s (ziemniaki, marchew), 2 m/s (dynia, kiwi),
- moc ultradźwięków 100 i 200 W (jabłka, ziemniaki) lub 50, 100 i 200 W (buraki czerwone), 75, 125 i 200 W (marchew) oraz 200 W (kiwi *i dynia?*),

- moc mikrofal 100 W (buraki czerwone, marchew),

- stopień rozdrobnienia próbek: plastry **jabłek** 2x4 cm i grubość 0,5 cm (masa wsadu 49±0,9 g), plastry **buraków, ziemniaków i marchwi** o średnicy 5,3 cm i grubości 0,5 cm (masa wsadu odpowiednio około 70 i 2 x 68,5 g), **oraz** plastry **kiwi** o średnicy 32 mm i grubości 7 mm i **dyni**, odpowiednio 32 x 5 mm (masa próbek wynosiła 6,4±0,1 g" dla kiwi i 18,5±0,05 g dla dyni).

W badaniach zasadniczych (rozdziały 12 i 13) przed suszeniem zastosowano wstępne odwadnianie osmotyczne, w tym wspomagane ultradźwiękami, w 50% roztworach sacharozy, sorbitolu i erytrytolu oraz w roztworze binarnym (roztwór sacharozy lub sorbitolu o stężeniu 30 lub 60% oraz 5% roztwór NaCl), a surowcami były owoce kiwi lub miękisz dyni. Próbki kiwi i dyni odwadniano osmotycznie w temperaturze 35°C przez 30 min, a następnie suszono w 60°C. Zdaniem recenzenta byłoby lepiej zamieścić te informacje w części metodycznej i zachować taką samą kolejność opisu planu badań, metodyki i omawianych wyników w całej pracy. Wydaje się zasadne omawianie i wnioskowanie o wynikach uzyskanych w badaniach wstępnych, a w drugiej kolejności danych z badań zasadniczych. Może można było w rozdziale dotyczącym omówienia wyników wyodrębnić również badania wstępne i zasadnicze.

W ramach „Efektywności suszenia.." poszczególnych surowców omówiono różne wskaźniki. Zasadniczo była to kinetyka suszenia konwekcyjnego z udziałem ultradźwięków (jabłka, ziemniaki) oraz dodatkowo z działaniem mikrofal (buraki czerwone, marchew), w większości uwzględniono również krzywe temperaturowe, a w przypadku kiwi i dyni przedstawiono też kinetykę wstępnego odwadniania osmotycznego.

Do oceny jakości suszonych próbek zastosowano pomiar aktywności wody i barwy, natomiast dodatkowo w przypadku suszy z jabłek, buraków ćwikłowych, ziemniaków oraz marchwi uwzględniono pomiar energochłonności/zużycia energii. Suszone jabłka i ziemniaki oceniono pod względem zdolności do rehydracji. W przypadku suszy z marchwi uwzględniono ocenę retencji składników fitochemicznych oraz modelowanie suszenia z walidacją kinetyki oraz efektywności suszenia. Końcowe rozdziały dotyczyły omówienia wyników odwadniania osmotycznego kiwi i dyni, w tym również ocenę retencji składników fitochemicznych.

Analizując przebieg kinetyki zmian wilgotności suszonych owoców i warzyw wykazano wyraźny korzystny wpływ ultradźwięków na kinetykę suszenia konwekcyjnego i mniejsze zapotrzebowanie energetyczne, oraz w mniejszym stopniu, również podczas osmotycznej obróbki wstępnej badanych surowców. Jednocześnie odnotowano skrócenie czasu suszenia konwekcyjnego, tym większe, im zastosowano wyższą moc ultradźwięków w zakresie 0-200 W. W przypadku jabłek o stosunkowo dużej porowatości tkanki, skrócenie czasu suszenia do uzyskania wilgotności na poziomie 0,03 g/g w.b., zależało od odmiany i mieściło się w zakresie od 36 (Rubin) do 46% (Lobo). Wysoki wskaźnik odnotowano również podczas suszenia

ziemniaków (42%) oraz dyni (49%), a niższy w przypadku buraków (26%) i marchwi (22%) oraz kiwi i dyni poddanych wstępnej obróbce (około 22%). Dodatkowe działanie mikrofal o mocy 100 W pozwoliło uzyskać susz z marchwi w kilka krotnie krótszym czasie w porównaniu do suszenia wspomaganego tylko ultradźwiękami. Autorka trochę inaczej przeliczyła ten wskaźnik, uzyskując skrócenie czasu suszenia buraków i marchwi o około 69 i 79%.

Analizując wskaźniki oceny jakości suszy wykazano zróżnicowany wpływ ultradźwięków. Wskutek mikrouszkodzeń tkanki nastąpiło obniżenie wilgotności materiału, a w próbkach odwadnianych osmotycznie, również zwiększone wnikanie substancji osmotycznej, dlatego w wielu przypadkach wykazano obniżenie aktywności wody, znaczące zmiany barwy, większą zdolność do rehydracji i dość zróżnicowane zmiany zawartości składników prozdrowotnych. W większości odnotowano straty wybranych związków polifenolowych oraz całkowitej ich zawartości, a także karotenoidów. Natomiast w dyni odwadnianej osmotycznie i suszonej konwekcyjnie z ultradźwiękami zanotowano większą retencję karotenoidów ogółem nawet o około 61% (odwadnianie w 60% roztworze sorbitolu i 5% NaCl), w porównaniu do tych samych warunków ich wytwarzania, ale bez udziału ultradźwięków. W pracy posłużono się odchyleniem standardowym, którego wartości były bardzo niskie, co może świadczyć o dużej jednorodności materiału i stosowanych warunków suszenia i osmotycznego odwadniania. Na podkreślenie zasługuje podrozdział dot. modelowania kinetyki suszenia marchwi, oceny szybkości suszenia oraz wartości wskaźników wymiany masy i ciepła. Stwierdzono, że ultradźwięki powodowały znaczące zwiększenie szybkości suszenia jako efekt wibracji i ogrzewania oraz synergii obu efektów.

Wyniki są przedyskutowane z dostępną literaturą, a szerszą dyskusję przeniesiono do kolejnego rozdziału „Podsumowanie i wnioski".

Podsumowanie i wnioski przedstawiono obszernie na 6 stronach. Jest to wynikiem włączenia dyskusji uzyskanych wyników, która mogłaby stanowić oddzielny rozdział lub być włączona do omówienia wyników. Wnioski są odpowiedzią na postawione hipotezy. W 14 wyodrębnionych wnioskach określono wpływ mocy ultradźwięków w zakresie 0-200 W na wszystkie zagadnienia objęte zakresem pracy. Ponadto uwzględniono inne czynniki mające wpływ na kinetykę suszenia (mniej lub bardziej zwarta struktura surowca, działanie mikrofal) i odwadniania osmotycznego (skład i stężenie roztworu). Wykazano, że surowce o mniej zwartej strukturze (dynia, jabłka, ziemniaki) były bardziej podatne na działanie ultradźwięków i zwiększały efektywność procesu (skrócenie czasu suszenia), ale w wielu przypadkach nastąpiły niekorzystne zmiany jakościowe. W przypadku surowców o zwartej strukturze (marchew, buraki) efekt działania ultradźwięków był odwrotny. Natomiast suszenie wspomagane mikrofalowo

wpływało bardziej korzystnie na kinetykę suszenia, ale przyczyniało się do pogorszenia jakości otrzymanych suszy. Niektóre stwierdzenia zawarte w podsumowaniu i wnioskach mogłyby być bardziej zwięzłe, przekrojowe i poparte analizą statystyczną.

Atuty rozprawy

Do najważniejszych osiągnięć ocenianej pracy doktorskiej można zaliczyć szeroki zakres badań, a uzyskane wyniki stanowią wykazanie wpływu oddziaływania ultradźwięków na zróżnicowane surowce pod względem struktury (budowa morfologiczna, porowatość, twardość, zawartość wody) i zawartości składników prozdrowotnych. Praca przedstawia duży potencjał stosowania obróbki ultradźwiękowej w procesach suszenia, zwłaszcza surowców o mniej zwięzłej strukturze. Na przykładzie marchwi Autorka podkreśliła potrzebę dokładnego prześledzenia kinetyki zmian zawartości wilgoci, a także temperatury podczas suszenia, dlatego wyznaczyła modele matematyczne dla krzywych suszenia i temperatury, obliczyła współczynniki konwekcyjnego przenikania masy i ciepła oraz szybkość suszenia z efektami wibracji, ogrzewania i synergii w funkcji czasu. Należy podkreślić, że Autorka wykazała, że ultradźwięki powodowały duże zwiększenie szybkości suszenia, co było związane z efektem wibracji, a w mniejszym stopniu efektem ogrzewania i synergii obu efektów. Wyjaśniła, że ultradźwięki powodują drgania powietrza w pobliżu powierzchni próbki, co poprawia transfer wilgoci i wpływa na zwiększenie współczynnika przenoszenia masy. Z poprawą wymiany ciepła i absorpcji energii ultradźwiękowej Autorka powiązała wzrost temperatury powierzchni próbki (efekt ogrzewania), który według obliczeń, nie był znaczący, jakkolwiek powodował zwiększenie temperatury o około 2K (Rys. 67b). Nie wykazano znaczącego wpływu ultradźwięków na aktywność wody suszy. Odnotowano nieznacznie niższe wartości przy zastosowaniu ultradźwięków, zwłaszcza większej mocy, szkoda, że nie poparto tych spostrzeżeń analizą statystyczną. Ważne są wyniki oznaczeń zawartości karotenoidów, w tym luteiny i b-karotenu oraz związków polifenolowych (kwasy chlorogenowy, kawowy i syryngowy) w suszach dyni. Zastosowanie ultradźwięków na etapie odwadniania osmotycznego w większości przypadków przyczyniło się do znaczącego obniżenia zawartości związków polifenolowych i karotenoidów w otrzymanych suszach. Najmniejsze zmiany stwierdzono w próbkach odwadnianych osmotycznie w mieszaninie 60% roztworu sacharozy z 5% NaCl ze wspomaganiem ultradźwiękami i suszonych konwekcyjnie z lub bez ultradźwięków. Znacznie korzystniejsze wyniki odnośnie zawartości polifenoli stwierdzono w odwadnianych osmotycznie próbkach kiwi.

Autorka słusznie podkreśliła, że w dobie zrównoważonego rozwoju, ważnego również w zakresie przetwórstwa spożywczego, zagadnienia związane z możliwością zmniejszenia

zapotrzebowania energetycznego w produkcji suszy z owoców i warzyw są niezwykle ważne. Przedstawione dane potwierdzają możliwość istotnego skrócenia czasu suszenia surowców roślinnych wskutek zastosowania ultradźwięków, zwłaszcza w połączeniu z działaniem mikrofal, co jest bezpośrednim czynnikiem umożliwiającym obniżenie zapotrzebowania na energię potrzebną do uzyskania odpowiedniej jakości produktów suszonych na zachowanie cech świeżego surowca.

Inne uwagi:

Nie umniejszając wartości merytorycznej, zaobserwowano pewne niedoskonałości pracy, np.:

Zdaniem recenzenta zbyt obszerna jest „Część teoretyczna", strony 11-76 (ze spisem oznaczeń), ze szczegółową charakterystyką surowców, w tym informacje historyczne odnośnie odmian poszczególnych surowców. Tytuły rozdziałów nieznacznie odbiegają od zapisanych w spisie treści.

Str. 77: Część metodyczna – opisano najpierw odwadnianie osmotyczne, następnie suszenie. Natomiast w omówieniu wyników odwadnianie osmotyczne kiwi i dyni stanowi dopiero 2 końcowe rozdziały 12 i 13. Dodatkowo, nasuwa się pytanie dotyczące liczby serii wykonanych badań.

W części „Wyniki badań i ich dyskusja" za początku przedstawiono informacje o surowcach, które powinny być raczej w metodyce pracy. Dlaczego zastosowano różne rozmiary i wielkości próbek? W pracy doktorantka napisała „*Wybrane losowo owoce były wyciągane na godzinę przed procesem ...*" Dlaczego jedne surowce były wybrane losowo i wyjęte np. godzinę przez procesem, a w stosunku do innych nie zastosowano tego etapu? Może zastąpić „*wyciągane*" innym sformułowaniem?

Str. 7-9, 58-59, 90 i inne „*Rehydratacja*", „rehydratyzowanej" czy rehydracja?

Str. 5, 30, 32, 149.., Pomimo, że na schemacie (rys. 5) przedstawiono zakresy fal akustycznych i ultradźwięków, w wielu miejscach pracy użyto tych sformułowań jako synonimów do ultradźwięków, np. „Odnotowano także wpływ właściwości biofizycznych materiału w odniesieniu do podatności na ***fale akustyczne*** „Dla plastrów dyni suszonych z wykorzystaniem energii akustycznej..", „poddawana jest **wysokoenergetycznej fali akustycznej** oraz stosunkowo niewielkiej ilości energii, dostarczanej przez suszenie konwekcyjne.". Ponadto w tym ostatnim przykładzie co oznacza „wysokoenergetyczna fala akustyczna"?

Str. 82: „7.1.5.3. Analiza statystyczna wyników" – stanowi tylko podrozdział „7.1.5. Oznaczanie parametrów biochemicznych" - w dysertacji oczekuje się wnioskowania statystycznego do wszystkich wyników.

Str. 151: W zdaniu „Wszystkie próby cechowały się podobną aktywnością wody, a czynnikiem mającym wpływ na ten parametr jakości była osmoza.", nie można się jednoznacznie zgodzić z tym stwierdzeniem, bo wartości tego wskaźnika były jednak zróżnicowane, o czym napisano w dalszej części tego akapitu. Przygotowując te dane do publikacji warto wskazać, czy pomiędzy nimi były różnice istotne statystycznie.

Str. 48: „*..ważną rolę zaczynają odgrywać tzw.* ***ukryte cechy jakości****, np. zawartość składników o charakterze prozdrowotnym*" – nie wszystkie cechy jakości o charakterze prozdrowotnym są ukryte, wiele z nich, np. antocyjany, w dużym stopniu wpływają na jakość sensoryczną produktów. Najważniejszym z takich wyróżników jest barwa.

Rys. 37 (Str. 87) Zbędne powtarzanie słupków aktywności wody surowców.
Rys. 39-41 – zbędne powtarzanie słupków dla parametrów barwy, ale te dane są trochę różne?

Podpisy pod rysunkami powinny być nieco bardziej ujednolicone, np. odnośnie Rys. 47 i 48, raz podpisano „burak czerwony" raz „burak ćwikłowy", na innych rysunkach nie zamieszczono informacji o rodzaju surowca, np. Rys. 49, 56, 67, 68, 69, Rys. 73 („Parametry SG i WL dla procesu odwadniania.. w czasie 30 min"). Ponadto zakres skali na ustawionych obok siebie rysunkach 72a,b i 73a,b jest różny, dlatego wprowadza w błąd, przy porównaniu wysokości słupków. Dodatkowo, dlaczego ubytek wilgoci na rys. 73 jest znacznie niższy niż przyrost masy suchej substancji?

„Rysunek 87. Aktywność wody dla suszonych prób dyni zwyczajnej" - dlaczego tak wysokie wartości aktywności wody suszy z dyni?

Str. 91: „*Do badań zaproponowano trzy odmiany jabłek* ***cechujących się różnym czasem uzyskania dojrzałości konsumpcyjnej.*** *Uzyskane* ***rezultaty pokazują dużą różnorodność cech odmianowych w obrębie tego samego gatunku*** *w odniesieniu zarówno do barwy, struktury materiału, jak i podatności na proces suszenia oraz zastosowania ultradźwięków.*" – W jakim stanie dojrzałości były te owoce?

Str. 91: „***Zbliżoną do wyników autorki odpowiedź materiału na zastosowanie ultradźwięków*** *uzyskała Szadzińska i inni [137], gdzie dla papryki zielonej najlepsze wyniki uzyskano dla próbek suszonych z zastosowaniem ultradźwięków o mocy 100 W. Można zatem stwierdzić, iż* ***wpływ metody suszenia na właściwości rehydratacyjne jest zależny od struktury suszonego materiału.***" - niepełna informacja, by porównać z uzyskanymi wynikami, np. jakie były metody suszenia, zakres mocy ultradźwięków. Wspomniano o różnej strukturze, zapewne odnośnie jabłek i papryki, ale na początku tej dyskusji napisano o zbliżonych wynikach..?

Występują drobne błędy językowe, stylistyczne i inne, np.:
- str. 50: „*gdzie* ***aktywności*** *wody odpowiada w przybliżeniu stosunkowi ciśnień*",
- Str. 59 „***względna*** *wilgotność* ***względna*** *powietrza suszącego*",
- Str. 61: Brak tłumaczenia „for" we wzorze 28,
- Str. 66 i 67 - mylnie zacytowano rys. 25, a powinien być rys. 24
- Str. 80: „*Pomiar był przeprowadzany na podstawie ciągłego pomiaru ubytku masy próbki o masie do 1,5 [g]*" - Zbędny też nawias kwadratowy.
- Str. 80: „*Pomiar został przeprowadzony w przestrzeni barw CIELab, opisanym w rozdziale 3.1.1., a wartość zmiany barwy liczona na podstawie wzoru (19).*" Wzór (19) dotyczy wielkości impedancji, powinien być zacytowany wzór (20), który podano na str. 49.
- Str. 81: „*Roztwór przygotowywany był bezpośrednio przed procesem, poprzez* ***roztwarzanie*** *odważonej na wadze analitycznej RADWAG PS 3500.R2 naważki substancji*" - może lepiej było użyć innego określenia zamiast „roztwarzanie".
- Str. 84: Zbędny cudzysłów przy odmianach jabłek, np. w Tab. 12
- Przy większości wzorów, oprócz wzorów 5 i 42, na ich końcu jest przecinek lub kropka, raczej zbędne, bo trochę to wprowadza w błąd, zwłaszcza, gdy wzór był z kreską ułamkową,.
- We wzorach zbędny jest symbol „%", np. wzory 38-40.

Rys. 79: co znaczy "surowiec", a co i "świeża" próbka?
- Str. 84: „*Najkrótszym* ***czasem suszenia****, niezależnie od odmiany,* ***charakteryzował się proces suszenia*** *konwekcyjnego z wykorzystaniem ultradźwięków o mocy 200 W.*" – proponuję poprawić styl zdania
- Zdanie na str. 91-92 zajmuje 7,5 wierszy; zbędny nawias w dalszej części.
- „***Najgorsze wyniki*** *uzyskali oni dla suszenia konwekcyjnego, przy jednoczesnym pogorszeniu jakości uzyskanych produktów [43].*" I „***Gorsze*** *wyniki rehydratacji..*".
- „*W procesach hybrydowych CVMW100US75, CVMW100US125 oraz CVMW100US200 zużycie energii było* ***nieco (od 19-33%)*** *większe niż dla procesu CVMW100W*" – Czy ilość energii rzędu 19-33% jest mało znacząca?

W niektórych miejscach występuje brak spacji, zbędne nawiasy kwadratowe przy wartościach jednostek, różne sposoby zapisu jednostek, np.:
- Zapis jednostek dot. prędkości powietrza w streszczeniach
- W rozdziale „Spis oznaczeń": „*SG – przyrost suchej substancji w odwadnianiu osmotycznym, [kg]*"- str. 13, natomiast na Rys. 72b „*przyrost masy substancji stałej [g]*", zaś na rys 82: „SG [kg/kg w.b],,

– inne jednostki i nazwa wskaźnika. „*Em* – adiabatyczny współczynnik sprężystości objętościowej" – brak jednostki.

- Str. 28, Tab. 3: W nazwie kolumny 5 brak informacji o jaką wartość chodzi, brakuje nazwy wskaźnika. Lepiej umieszczać jednostki przy nazwach wskaźników zamiast przy każdej wartości. Str. 51 „*Π* – ciśnienie osmotyczne.." – brak w spisie oznaczeń, brak jednostki.
- Błędne numerowanie niektórych tabel i ich cytowanie
- Str. 82: „*Wodny ekstrakt fenolowy (50 μl) zmieszano z 5 ml rozcieńczonego roztworu ABTS⁺ i zmierzono jego absorpcję przy 734 nm..*" – znak „+" powinien być w potędze.

Występują różne sposoby lub niepełne cytowania, np.:

- „***Khmelev i inni** zaproponowali..*", „***Cao i współpracownicy** wykazali*" (str. 39-40), „*model matematyczny, opracowany przez **prof. S. J.** Kowalskiego [114]*." (str. 77) i „***Kowalski** wymienia trzy zjawiska składające się*" (str. 36), „prowadzonej przez **dr J. A. Gallego-Juarez i dr E. Riera**." (str. 37).
- Str. 50: „*Aktywność wody roztworów wodnych może być obliczana na podstawie wzoru przedstawionego przez **Danielsa i Alberty i wyrażającego** się następująco..*" - brak numeru cytowania, brak pozycji w spisie literatury.
- Str. 51: „*Rysunek 15 przedstawia jedną z najbardziej znanych map stabilności żywności, zaproponowaną w 1970 roku przez Labuzę, gdzie położenie względem..*" - brak numeru cytowania, brak pozycji w spisie literatury.

Dorobek naukowy Doktorantki jest odpowiedni. Składa się z publikacji, które opublikowane zostały w czasopismach znajdujących się w „Ujednoliconym wykazie czasopism naukowych" Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Podana przez Doktorantkę suma współczynnika IF trzech publikacji wynosi 12,595, a suma punktów w oparciu MNiSW wynosi 380. Łącznie Doktorantka jest autorem lub współautorem ośmiu pozycji, na które złożyły się artykuły naukowe oraz doniesienia zawarte w materiałach konferencyjnych. Nie dołączono oświadczeń współautorów o udziale Doktorantki we współtworzeniu koncepcji przeprowadzonych badań, opracowaniu wyników, ich dyskusji oraz współredagowaniu publikacji i odpowiedzi na ich recenzje. Jednakże w połowie z nich jest pierwszym autorem.

Wniosek końcowy

Praca charakteryzuje się dużą wartością poznawczą i praktyczną w zakresie oceny wpływu zastosowania ultradźwięków na zróżnicowane warunki suszenia (konwekcyjne i mikrofalowe) suszenie i osmotyczne odwadnianie surowców roślinnych oraz wybrane właściwości fizykochemiczne otrzymanych suszy. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono korzystny wpływ ultradźwięków na zwiększenie efektywności suszenia poprzez zwiększony transfer masy, a jednocześnie wykazano znaczące oszczędności energetyczne. Stwierdzono jednak straty związków o charakterze prozdrowotnym (związki polifenolowe, karotenoidy), dlatego słusznie wykazano potrzebę prowadzenia kolejnych badań, by tę wadę ograniczyć.

Przedstawiona do recenzji praca mgr inż. Karoliny Kroehnke została zrealizowana przy pomocy nowoczesnych technik badawczych, z wykorzystaniem których przeprowadzono

szeroki zakres badań, a otrzymane wyniki opracowano z uwzględnieniem modelowania matematycznego. Stanowi wartościowe, dojrzałe, oryginalne opracowanie naukowe, przygotowane przez Autorkę. Ponadto można wnioskować, że jako współautorka dołączonych publikacji, posiada ugruntowaną wiedzę o przetwarzaniu i badaniu właściwości fizykochemicznych surowców i produktów. Wyniki pracy mają dużą wartość poznawczą i wnoszą znaczący i oryginalny wkład do rozwoju wiedzy z zakresu technologii i inżynierii chemicznej.

Na podstawie powyższej opinii stwierdzam, że rozprawa doktorska pani mgr inż. Joannę Karolinę Kroehnke pt. „Ultradźwiękowe wspomaganie procesów suszenia żywności" spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. Ustaw, poz. 1668) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne, Instytutu Technologii i Inżynierii Chemicznej, Politechniki Poznańskiej o przyjęcie i dopuszczenie pani mgr inż. Joanny Karoliny Kroehnke do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

H. Kowalska