

Mgr inż. Aleksandra FIJAŁKOWSKA
Dr inż. Małgorzata NOWACKA
Prof. dr hab. Dorota WITROWA-RAJCHERT
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Wydział Nauk o Żywności, SGGW w Warszawie

WPŁYW ODDZIAŁYWANIA ULTRADŹWIĘKÓW NA BARWĘ SUSZONEJ KONWEKCYJNIE TKANKI JABŁKA®

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące wpływu działania fal ultradźwiękowych na przebieg procesu suszenia oraz na barwę suszu jabłkowego. Plastry jabłek odmiany „Idared” potraktowano ultradźwiękami o częstotliwości 21 kHz przez 10, 20 i 30 minut, a następnie poddano suszeniu. Materiał wysuszono metodą konwekcyjną w temperaturze 70°C, przy przepływie powietrza z prędkością 2 m/s. W pracy wykazano istotny wpływ wstępnej obróbki ultradźwiękami surowca na skrócenie czasu suszenia. 20 i 30-minutowe działanie ultradźwięków spowodowało znaczące zmniejszenie jasności suszy, zwiększenie wartości współrzędnych a^ i b^* oraz nasycenia barwy, w porównaniu z suszoną tkanką niepoddaną obróbce wstępnej.*

Słowa kluczowe: jabłko, ultradźwięki, suszenie konwekcyjne, barwa.

WSTĘP

Suszenie konwekcyjne jest szeroko stosowaną metodą utrwalania żywności, w której surowiec poddawany jest działaniu gorącego powietrza. Proces ten powoduje usunięcie wody z materiału przez jej odparowanie, w wyniku czego następuje zmniejszenie objętości i masy produktu [11, 20, 25]. Suszenie spowalnia reakcje enzymatyczne i hamuje rozwój drobnoustrojów, jednak wysoka temperatura i długi czas procesu wpływają niekorzystnie na właściwości suszonego materiału [17]. Niepożądane zmiany wywołane są głównie przez reakcje chemiczne, m.in. utlenianie i brązowienie nieenzymatyczne, którym towarzyszą zjawiska mechaniczne, związane ze zmianą struktury oraz skurczem tkanki [15]. Suszenie powoduje również pogorszenie smaku, aromatu, barwy, tekstury i właściwości odżywczych produktu, w tym utratę właściwości przeciwutleniających oraz obniżenie zawartości polifenoli [21].

W celu poprawy szybkości, a tym samym wydajności procesu suszenia oraz ograniczenia niekorzystnych zmian zachodzących pod wpływem wysokiej temperatury stosowane są metody obróbki wstępnej. Jedną z nowoczesnych technik jest wykorzystanie ultradźwięków, które ze względu na ich nietermiczny charakter mogą polepszać jakość suszonych produktów [6, 18].

Ultradźwięki są to wibracje powietrza, których częstotliwość mieści się w zakresie od 20 kHz do 100 MHz, co znacznie przekracza próg słyszalności dla ludzkiego ucha [16]. Ultradźwięki o wysokiej intensywności, w przedziale od 10 do 1000 W/cm², powodują fizyczne zmiany w materiale i są stosowane do przyspieszania reakcji chemicznych, inhibicji enzymów, rozrywania komórek i tworzenia emulsji. Fale ultradźwiękowe są również wykorzystywane do wspomaganie różnych procesów technologicznych, takich jak sterylizacja, krystalizacja, zamrażanie czy suszenie [2, 5].

Ultradźwięki wywołują w ośrodkach stałych serię szybkich skurczy i rozprężeń (podobnie jak gąbka ściskana

i rozluźniana), co prowadzi do tworzenia się mikroskopijnych kanałów i ułatwia usuwanie wody z wnętrza materiału do otaczającego roztworu [1]. W ośrodkach ciekłych działanie ultradźwięków wiąże się ze zjawiskiem kawitacji, które polega na powstawaniu, wzroście i gwałtownym pękaniu pęcherzyków gazowych. Zjawisko to jest odpowiedzialne za znaczny wzrost ciśnienia i temperatury w produkcie, co powoduje zniszczenie komórek. Kawitacja może również wpływać na przyspieszenie reakcji chemicznych czy zwiększenie szybkości dyfuzji [2, 3].

Zastosowanie ultraakustyki do optymalizacji procesu suszenia umożliwia poprawę wydajności procesu oraz uzyskanie wyższej jakości suszonej żywności [4]. Fale ultradźwiękowe istotnie zwiększają dyfuzję wody, przez co czas procesu ulega skróceniu, a koszty produkcji znacznie się zmniejszają [1, 12]. Właściwości suszy mogą ulec poprawie, co stwierdzono m.in. podczas badań właściwości rekonstrukcyjnych [13].

Celem artykułu jest przedstawienie uzyskanych wyników badań dotyczących wpływu obróbki wstępnej ultradźwiękami na kinetykę procesu suszenia tkanki jabłek oraz na barwę suszonego materiału.

MATERIAŁY I METODY

Materiał do badań stanowiły jabłka odmiany „Idared”, pochodzące z Pól Doświadczalnych Katedry Sadownictwa SGGW, które do momentu rozpoczęcia badań przechowywano w chłodni w temperaturze 5-8°C, przy wilgotności względnej powietrza około 90%.

Jabłka krojono w plastry o średnicy $30 \pm 0,1$ mm i grubości $5 \pm 0,1$ mm i poddawano obróbce wstępnej. W celu uniknięcia zmian barwy spowodowanych reakcjami brunatnienia enzymatycznego plastry bezpośrednio po pokrojeniu zanurzano w 0,1% roztworze kwasu cytrynowego.

Wstępną obróbkę ultradźwiękami (US) o częstotliwości 21 kHz prowadzono przez 10, 20 i 30 minut w wodzie destylowanej. Stosunek surowca do wody wynosił 1:4. W celu określenia wpływu oddziaływania ultradźwięków z pominięciem zmian wywołanych przebywaniem surowca w wodzie

destylowanej przeprowadzono proces moczenia (M) w czasie 10, 20 i 30 minut. Po określonym czasie obróbki wstępnej plastry osuszano na bibule filtracyjnej. Masę wsadu mierzono przed i po obróbce wstępnej.

Zawartość suchej substancji w materiale surowym, moczonym oraz poddanym ultradźwiękom oznaczono metodą suszarkową, zgodnie z normą PN-90/A-75101/03 [19].

Suszenie konwekcyjne prowadzono w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 70°C, stosując przepływ powietrza równoległy do warstwy materiału o prędkości 2 m/s i obciążenie sita wynoszące 0,25 kg (1,92 kg/m²). Suszenie prowadzono do momentu osiągnięcia równowagowej zawartości wody. Podczas procesu rejestrowano zmiany masy wsadu za pomocą programu komputerowego „Pomiar”. Czas suszenia plasterków jabłka surowego i poddanego obróbce wstępnej określono dla tkanki zawierającej 0,09 g H₂O/g s.s.

Barwę suszu mierzono w systemie CIE L*a*b* za pomocą chromometru CR-300 firmy Minolta. Na podstawie wartości L*, a*, b* obliczano nasycenie barwy (C) oraz bezwzględną różnicę barwy (ΔE) [22]:

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} / L^* \quad (1)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

gdzie: L* – jasność

a* – współrzędna chromatyczna określająca barwę czerwoną (+a*) i zieloną (-a*)

b* – współrzędna chromatyczna określająca barwę żółtą (+b*) i niebieską (-b*)

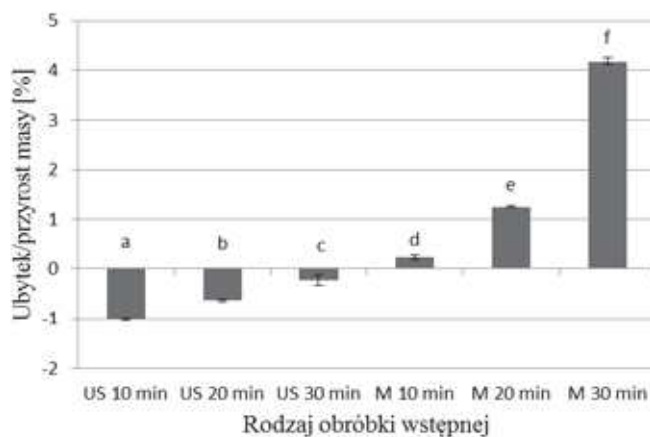
ΔL*, Δa*, Δb* – wskaźniki różnicy barwy powierzchni porównywanych próbek, w odniesieniu do suszonego jabłka niepoddanego obróbce wstępnej. ΔE jest wyrażona w umownych jednostkach NBS, które zostały wprowadzone przez amerykańskie biuro normalizacyjne.

Analiza statystyczna wyników obejmowała jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA) wykonaną za pomocą oprogramowania Statgraphics Plus 5.1. Jednorodność wariancji sprawdzono testem Levene'a. W celu wyznaczenia grup homogenicznych, nieróżniących się w ujęciu statystycznym, zastosowano test Duncana przy poziomie istotności α=0,05.

WYNIKI I DYSKUSJA

Obróbka wstępna z zastosowaniem ultradźwięków spowodowała niewielki ubytek masy (rys. 1). Odnotowano istotnie statystycznie zróżnicowanie zmian masy jabłka przy różnych czasach obróbki. Wraz z wydłużeniem czasu zmniejszał się ubytek masy. Najmniejszy ubytek masy wystąpił po 30 minutach obróbki ultradźwiękami (0,23%), a największy po 10 minutach (1%). Fale ultradźwiękowe wywołują w tkance tzw. efekt gąbki, który charakteryzuje się kurczeniem się i rozprężaniem tkanki materiału. Efekt ten wpływa na tworzenie się mikroskopijnych kanalików, co powoduje „wypychanie” roztworu znajdującego się w komórkach surowca do otaczającego środowiska [1] i może prowadzić do zmniejszenia masy. Z drugiej strony, w wyniku różnicy ciśnień

osmotycznych woda otaczająca tkankę wnika do jej wnętrza, a im dłuższy był czas tego procesu, tym przyrost masy był większy, co było wyraźnie widoczne w czasie moczenia jabłka w wodzie. W efekcie obserwowano zmniejszenie ubytku masy wraz z wydłużającym się czasem działania ultradźwięków. Odwrotną zależność uzyskali Fernandes i wsp. [9], traktując tkankę papai ultradźwiękami o częstotliwości 25 kHz.



Rys. 1. Wpływ obróbki wstępnej na zmianę masy tkanki jabłka.

a-f – wartości oznaczone innymi indeksami różniące się między sobą statystycznie

Źródło: Badania własne

Wykazali, że w przedziale od 10 do 30 minut stosowania ultradźwięków wraz ze wzrostem czasu obróbki zwiększał się ubytek wody w produkcie. Największe straty wody odnotowano po 90 minutach traktowania materiału falami ultradźwiękowymi i wynosiły one 11,9 ± 1,4%. Ponadto, w przypadku ananasa Fernandes i wsp. [10] również zaobserwowali ubytek masy, który po 30 minutach stosowania ultradźwięków o częstotliwości 25 kHz wynosił ok. 3,1%. Autorzy uznali, że ubytek ten mógł być spowodowany zniszczeniem komórek i tworzeniem się dużych przestrzeni między komórkami, co z kolei wpływało na powstawanie w tkance ananasa mikrokanalików, umożliwiających dyfuzję wody. Wydaje się, że duży wpływ na zmiany masy (ubytki lub przyrosty) może mieć porowatość tkanki poddawanej ultradźwiękom. Im jest ona większa, tym masa wnikażąca z otaczającego środowiska wody może być większa niż masa roztworu „wypychanego” z tkanki na skutek działania ultradźwięków.

Surowe jabłko charakteryzowało się zawartością suchej substancji na poziomie 15,1%. Procentowa zawartość suchej substancji w jabłku po obróbce wstępnej uległa znacznemu, statystycznie istotnemu zmniejszeniu (tab. 1), które nie wynikało z działania ultradźwięków, ponieważ w tkance moczony przez odpowiedni czas zanotowano podobne wartości. Czas obróbki wstępnej w większości przypadków nie wpływał na procentową zawartość suchej substancji w surowym jabłku. Wyższe wartości uzyskano jedynie po zastosowaniu 30-minutowej obróbki ultradźwiękami.

Suszenie powoduje wiele niekorzystnych zmian w wewnętrznej strukturze i składnikach surowców roślinnych. W celu zmniejszenia uszkodzenia tkanki i zachowania jak najwyższej wartości odżywczej produktu, dąży się do skrócenia czasu suszenia [14].

Tabela 1. Zawartość suchej substancji w jabłkach po obróbce wstępnej i czas suszenia do zawartości wody wynoszącej 0,09 gH₂O/g.s.

a÷c – wartości oznaczone innymi indeksami różnią się między sobą statystycznie

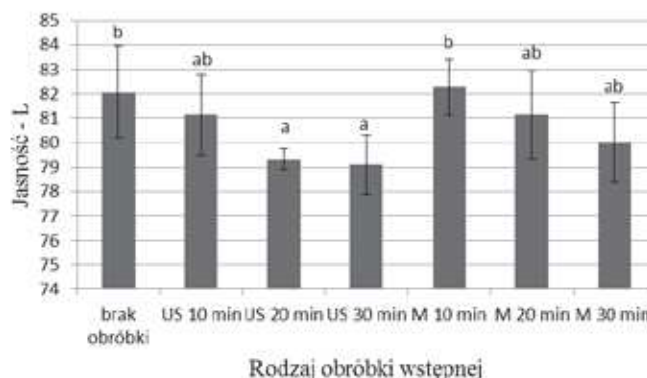
Rodzaj obróbki	Zawartość suchej substancji [%]	Czas suszenia [min]
brak obróbki	15,08 ± 0,79 _c	133 ± 2,8 _b
US 10 min	11,16 ± 0,61 _a	110 ± 0,1 _a
US 20 min	11,43 ± 0,73 _{ab}	116 ± 0,1 _a
US 30 min	12,72 ± 0,49 _b	110 ± 1,5 _a
M 10 min	11,48 ± 0,88 _{ab}	111 ± 1,7 _a
M 20 min	11,31 ± 1,23 _a	128 ± 6,0 _b
M 30 min	11,74 ± 1,10 _{ab}	135 ± 2,1 _b

Źródło: Badania własne

Czas potrzebny do wysuszenia jabłek niepoddanych obróbce wstępnej do zawartości wody wynoszącej 0,09 gH₂O/g.s. wynosił 133 minuty. 20 i 30-minutowe moczenie jabłek w wodzie nie spowodowało istotnych zmian czasu suszenia. W pozostałych przypadkach suszenie zostało skrócone o 5-17%, w stosunku do jabłka niepoddanego zabiegom wstępnym (tab. 1). Najkrótszy czas, wynoszący 110 minut, uzyskano po zastosowaniu 10-cio i 30-minutowej obróbki ultradźwiękami. Skrócenie czasu oznacza, że obróbka wstępna z wykorzystaniem ultradźwięków powoduje przyspieszenie dyfuzji wody w trakcie suszenia konwekcyjnego, co zostało także potwierdzone w literaturze. Przykładowo potraktowanie melona ultradźwiękami o częstotliwości 25 kHz przez 30 minut wpłynęło na zwiększenie współczynnika dyfuzji w trakcie suszenia konwekcyjnego o 39,4% [7]. Po 20-minutowym działaniu ultradźwięków o częstotliwości 25 kHz czas suszenia bananów [6] i papai [9] uległ skróceniu w stosunku do surowca niepoddanego obróbce wstępnej odpowiednio o 12,6 i 22,5%. Najefektywniejsze działanie ultradźwięków o częstotliwości 25 kHz odnotowano w przypadku ananasa, którego czas suszenia został skrócony o 39,2% [8].

W trakcie procesu suszenia barwa produktów ulegała zmianie. Ten wyróżnik jakości suszy jest bardzo istotny z punktu widzenia konsumenta. Suszenie konwekcyjne znacząco wpłynęło na współczynnik jasności L* oraz współrzędne chromatyczne a* i b*. Parametr L* jabłka surowego wynosił 75,9 ± 2,2. Barwa suszy uległa znacznemu rozjaśnieniu w porównaniu z surowym jabłkiem (rys. 2). Wyższa wartość parametru L* uzyskanych suszy, wynikała ze sposobu wykonania oznaczenia. Oznaczenie to polega na pomiarze odbitego promieniowania od badanej powierzchni. Inaczej odbijane jest światło od powierzchni jabłka świeżego, który jest produktem o dużej zawartości wody niż od porowatej powierzchni suszy [23]. Na podstawie analizy statystycznej wykazano istotny wpływ obróbki wstępnej ultradźwiękami trwającej 20 i 30 minut na zmniejszenie współczynnika jasności L* w porównaniu z suszem jabłkowym bez obróbki. Samo moczenie nie powodowało istotnych zmian jasności powierzchni suszonych próbek. W obu przypadkach

wraz z wydłużaniem czasu trwania obróbki następuje zmniejszenie jasności suszu jabłkowego.

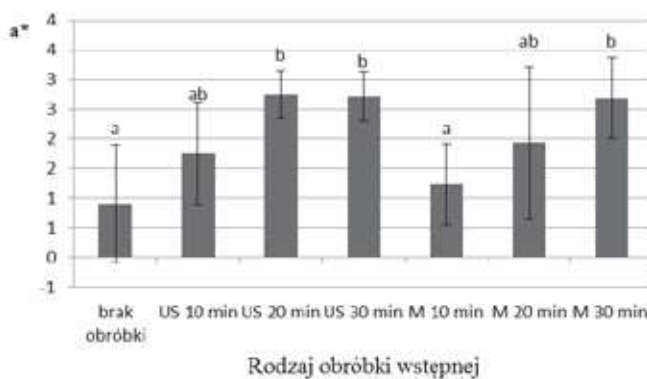


Rys. 2. Jasność tkanki jabłka surowego i suszy jabłkowych poddanych wstępnej obróbce przed suszeniem.

a÷b – wartości oznaczone innymi indeksami różnią się między sobą statystycznie

Źródło: Badania własne

Wartość współrzędnej chromatycznej a*, opisującej udział barwy czerwonej i zielonej, wynosiła -4,14 ± 0,43. Po procesie suszenia nastąpił znaczny wzrost jej wartości (rys. 3). Oznacza to zwiększenie udziału barwy czerwonej, który może być związany z zachodzeniem reakcji nieenzymatycznego i enzymatycznego brunatnienia podczas procesu suszenia [24]. W suszach poddawanych przed suszeniem moczeniu przez 30 minut lub potraktowanych ultradźwiękami przez 20 i 30 minut zaobserwowano istotny wzrost wartości współrzędnej a*, w stosunku do suszu niepoddanego zabiegom wstępnym. W obu przypadkach wraz ze wzrostem czasu trwania obróbki, zwiększała się wartość współrzędnej a*.



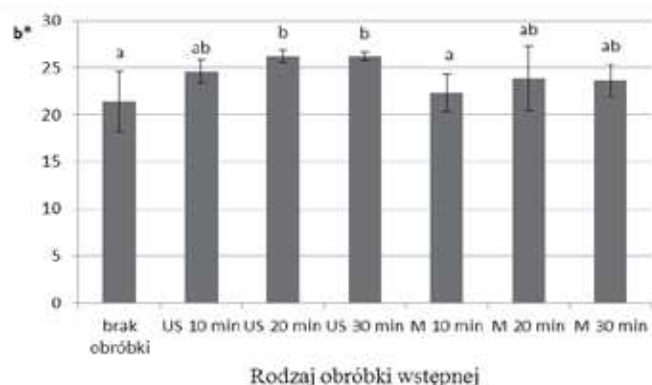
Rys. 3. Współrzędna chromatyczna a* tkanki jabłka surowego i suszy poddanych wstępnej obróbce przed suszeniem.

a÷b – wartości oznaczone innymi indeksami różnią się między sobą statystycznie

Źródło: Badania własne

Po procesie suszenia wartość współrzędnej chromatycznej b*, opisującej udział barwy żółtej i niebieskiej, uległa zwiększeniu względem świeżego jabłka, w którym b* było równe 17,79 ± 2,09. Odnotowano zatem wzrost udziału barwy żółtej (rys. 4). Wartości współrzędnej b* suszy potraktowanych ultradźwiękami różniły się istotnie w stosunku do suszu niepoddanego obróbce wstępnej. W przypadku ja-

blek moczonych w wodzie nie zaobserwowano znaczącego wpływu tego zabiegu na wartość współczynnika b^* .

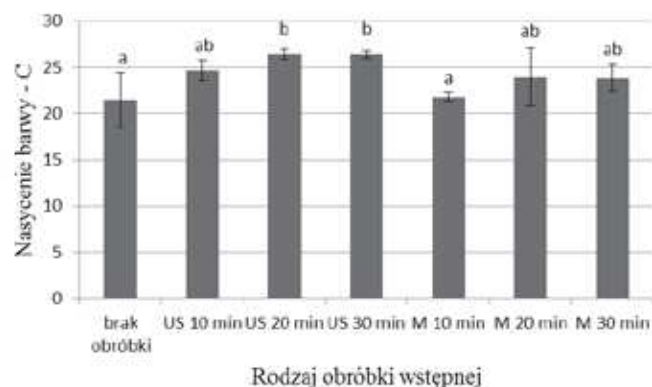


Rys. 4. Współrzędna chromatyczna b^* tkanki jabłka surowego i suszy jabłkowych poddanych wstępnej obróbce przed suszeniem.

$a \neq b$ – wartości oznaczone innymi indeksami różnią się między sobą statystycznie

Źródło: Badania własne

Zastosowanie ultradźwięków przez 20 i 30 minut istotnie wpłynęło na nasycenie barwy C w suszach jabłkowych (rys. 5), co spowodowane było wyższym udziałem barwy żółtej i czerwonej w suszonej tkance. Natomiast w tkance moczonej w wodzie nasycenie barwy nie różniło się istotnie od wartości uzyskanej w suszu niepoddanym zabiegowi wstępnemu.



Rys. 5. Nasycenie barwy tkanki jabłka surowego i suszy poddanych wstępnej obróbce przed suszeniem.

$a \neq b$ – wartości oznaczone innymi indeksami różnią się między sobą statystycznie

Źródło: Badania własne

Bezwzględna różnica barwy ΔE w suszach odzwierciedla zmiany barwy względem suszu niepoddanego obróbce wstępnej. Susz jabłkowy potraktowany ultradźwiękami przez 20 i 30 minut uzyskał wartość ΔE powyżej 5, co jest uznawane za dużą zmianę, która jest rozpoznawana przez konsumenta (tab. 2). Pozostałe susze uzyskały wartości ΔE poniżej 4 i charakteryzowały się wyraźnym odchyleniem barwy od barwy suszu niepoddanego zabiegom wstępnym. Jednak analiza statystyczna nie wykazała istotnego wpływu rodzaju obróbki wstępnej i czasu jej trwania na bezwzględną różnicę barwy.

Tabela 2. Bezwzględna różnica barwy ΔE suszy jabłkowych poddanych obróbce wstępnej przed suszeniem

$a \neq b$ – wartości oznaczone innymi indeksami różnią się między sobą statystycznie

Rodzaj obróbki	Bezwzględna różnica barwy ΔE [-]
US 10 min	$3,67 \pm 1,37_{ab}$
US 20 min	$5,87 \pm 0,57_b$
US 30 min	$5,99 \pm 0,92_b$
M 10 min	$2,00 \pm 1,38_a$
M 20 min	$3,93 \pm 2,40_{ab}$
M 30 min	$3,70 \pm 1,95_{ab}$

Źródło: Badania własne

WNIOSKI

Zastosowanie ultradźwięków do obróbki wstępnej tkanki jabłka spowodowało skrócenie czasu suszenia konwekcyjnego o 13-17%, w stosunku do tkanki niepoddanej obróbce.

Zastosowanie ultradźwięków przez 20 lub 30 minut spowodowało istotne zmniejszenie jasności suszy jabłkowych, w porównaniu z suszoną tkanką niepoddaną zabiegom wstępnym. W przypadku współrzędnej a^* , opisującej udział barwy czerwonej i zielonej, oraz współrzędnej b^* , określającej barwę żółtą i niebieską, zaobserwowano znaczące zwiększenie wartości tych współczynników w odniesieniu do jabłka niepoddanego obróbce wstępnej. Jednocześnie, fale ultradźwiękowe, działające na tkankę jabłka przez 20 lub 30 minut, znacząco wpłynęły na zwiększenie nasycenia barwy suszonego materiału. Nie stwierdzono istotnej różnicy barwy pomiędzy suszem poddanym działaniu ultradźwięków i suszem, w którym nie stosowano zabiegów wstępnych.

Biorąc pod uwagę skrócenie czasu procesów technologicznych, związane ze zmniejszeniem nakładów energetycznych, przy nieznacznym zużyciu energii podczas obróbki ultradźwiękowej, a jednocześnie niewielkie zmiany właściwości tkanki jabłka, badanych na podstawie zmian barwy, można stwierdzić, że zastosowanie wstępnej obróbki ultradźwiękowej jest w pełni uzasadnione.

LITERATURA

- [1] AZOUBEL P.M., BAIMA M.A.M., AMORIM M.R., OLIVEIRA S.S.B. 2010. *Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics*. Journal of Food Engineering 97(2): 194-198.
- [2] CARCEL J.A., GARCIA-PEREZ J.V., BENEDITO J., MULET A. 2012. *Food process innovation through new technologies: use of ultrasound*. Journal of Food Engineering 110(2): 200-207.
- [3] CHANDRAPALA J., OLIVER C., KENTISH S., ASHOKKUMAR M. 2012. *Ultrasonics in food processing*. Ultrasonics Sonochemistry 19(5): 975-983.

- [4] CHEMAT F., HUMA Z., KHAN M.K. 2011. *Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction*. Ultrasonics Sonochemistry 18(4): 813-835.
- [5] DOLATOWSKI Z.J., STADNIK J., STASIAK D. 2007. *Applications of ultrasound in food technology*. ACTA Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria 6(3): 89-99.
- [6] FERNANDES F.A.N., RODRIGUES S. 2007. *Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: dehydration of banana*. Journal of Food Engineering 82(2): 261-267.
- [7] FERNANDES F.A.N., GALLAO M.I., RODRIGUES S. 2008a. *Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration*. LWT – Food Science and Technology 41(4): 604-610.
- [8] FERNANDES F.A.N., LINHARES F.E., RODRIGUES S. 2008b. *Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple*. Ultrasonic Sonochemistry 15(6): 1049-1054.
- [9] FERNANDES F.A.N., OLIVEIRA F.I.P., RODRIGUES S. 2008c. *Use of ultrasound for dehydration of papayas*. Food Bioprocess Technology 1(4): 339-345.
- [10] FERNANDES F.A.N., GALLAO M.I., RODRIGUES S. 2009. *Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration*. Journal of Food Engineering 90(2): 186-190.
- [11] FIGIEL A. 2007. *Dehydration of apples by a combination of convective and vacuum-microwave drying*. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences 57(4): 131-135.
- [12] GARCIA-PEREZ J.V., CARCEL J.A., FUENTE-BLANCO S., RIERA-FRANCO DE SARABIA E. 2006. *Ultrasonic drying of foodstuff in a fluidized bed: parametric study*. Ultrasonics 44: 539-543.
- [13] JAMBRAK A.R., MASON T.J., PANIWNZYK L., LELAS V. 2007. *Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties*. Journal of Food Engineering 81(1): 88-97.
- [14] JANOWICZ M., LENART A. 2003. *Znaczenie suszenia owoców i warzyw*. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego 12(1): 28-32.
- [15] LEWICKI P.P. 2006. *Design of hot air drying for better foods*. Trends in Food Science and Technology 17(4): 153-163.
- [16] MARTINI, S., POTTER, R., WALSH, M.K. 2010. *Optimizing the use of power ultrasound to decrease turbidity in whey protein suspensions*. Food Research International 43(10): 2444-2451.
- [17] NAWIRSKA A., FIGIEL A., KUCHARSKA A.Z., SOKÓŁ-ŁĘTOWSKA A., BIESIADA A. 2009. *Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods*. Journal of Food Engineering 94(1): 14-20.
- [18] NOWACKA M., WIKTOR A., ŚLEDŹ M., JUREK N., WITROWA-RAJCHERT D. 2012. *Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties*. Journal of Food Engineering 113(3): 427-433.
- [19] PN-90/A-75101/03. *Przetwory owocowe i warzywne. Oznaczenie zawartości suchej masy metodą wagową*.
- [20] RZĄCA M., WITROWA-RAJCHERT D. 2007a. *Wpływ techniki suszenia oraz warunków przechowywania na właściwości rekonstruktoryjne i higroskopijne suszu jabłkowego*. Acta Agrophysica 9(2): 471-479.
- [21] RZĄCA M., WITROWA-RAJCHERT D. 2007b. *Wpływ parametrów suszenia konwekcyjno-mikrofalowego na aktywność przeciwnadkwasotworczą jabłek*. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość 54(5): 222-230.
- [22] RZĄCA M., WITROWA-RAJCHERT D. 2007c. *Wpływ techniki suszenia na właściwości optyczne suszu jabłkowego*. Acta Agrophysica 10(2): 445-453.
- [23] RZĄCA M. 2009. *Studia nad wykorzystaniem promieniowania podczerwonego i mikrofalowego do suszenia jabłek*. Praca doktorska, Warszawa.
- [24] VADIVAMBAL R., JAYAS D. S. 2007. *Changes in quality of microwave-treated agricultural products – a review*. Biosystems Engineering 98(1): 1 – 16.
- [25] ZOTARELLI M.F., ALMEIDA PORCIUNCULA B.D., BORGES LAURINDO J. 2012. *A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits*. Journal of Food Engineering 108(4): 523-531.

THE INFLUENCE OF ULTRASOUND ON THE COLOUR OF CONVECTIVE DRIED APPLE TISSUE

SUMMARY

The aim of this work was to investigate the influence of ultrasound on kinetic of drying and on the colour of dried apple. Apple slices var. Idared were submitted to ultrasonic waves at the frequency of 21 kHz for 10, 20 and 30 minutes. After ultrasound pre-treatment, apple tissue was subjected to drying process. Slices were dried by convective drying at temperature 70°C with air flow velocity of 2 m/s. Obtained results showed the significant effect of ultrasound pre-treatment on reduction of drying process time. Moreover, ultrasound applied for 20 and 30 minutes significantly affected the colour of dried apple. Ultrasound waves decreased lightness of dried material and increased the parameters a^* and b^* value and colour saturation, in comparison to untreated dried tissue.

Key words: apple, ultrasound, convective drying, colour.