

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **236595**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **421709**

(22) Data zgłoszenia: **25.05.2017**

(51) Int.Cl.

A23B 7/01 (2006.01)

A23L 3/54 (2006.01)

A23L 5/30 (2016.01)

A23L 19/00 (2016.01)

(54) **Sposób obróbki wstępnej surowców roślinnych przed procesem suszenia**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
03.12.2018 BUP 25/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
25.01.2021 WUP 02/21

(73) Uprawniony z patentu:

**SZKOŁA GŁÓWNA GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO W WARSZAWIE, Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ARTUR WIKTOR, Józefosław, PL
MAŁGORZATA NOWACKA, Warszawa, PL
MAGDALENA DADAN, Żelków Kolonia, PL
KATARZYNA RYBAK, Warszawa, PL
DOROTA WITROWA-RAJCHERT,
Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Rafał Witek

PL 236595 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem zgłoszenia jest sposób prowadzenia obróbki wstępnej surowców roślinnych stosowany przed procesem suszenia, zwłaszcza suszenia konwekcyjnego lub mikrofalowo-konwekcyjnego.

W dobie rozwijającej się produkcji dań gotowych i produktów do bezpośredniego spożycia suszarnictwo warzyw i owoców ma istotne znaczenie. Sezonowość surowców roślinnych często prowadzi do powstawania nadwyżki owoców i warzyw, natomiast suszenie daje możliwość utrwalenia takich surowców w łatwy sposób, w krótkim czasie i z zachowaniem odpowiedniej jakości [Janowicz i Lenart, 2007]. Suszenie pozwala także na zmniejszenie masy i objętości produktu, co z kolei obniża koszty pakowania, transportu i magazynowania [Lewicki, 2006]. Uzyskiwany w ten sposób materiał może być długo przechowywany, przy czym jednocześnie jest łatwy do odtworzenia [Strumiłło, 2005; Janowicz i Lenart, 2007]. Mimo że suszenie jest jedną z najstarszych metod utrwalania żywności [Lewicki, 2006; Deng i Zhao, 2008], dalej pozostaje procesem powszechnie stosowanym, ukierunkowanym na ciągły rozwój. Jest to proces technologiczny stosowany w różnych gałęziach przemysłu [Chou i Chua, 2001], przy czym w technologii żywności wykorzystuje się go w określonych, najczęściej końcowych etapach produkcji.

Suszenie konwekcyjne jest jednym z najłatwiejszych sposobów przetworzenia owoców i warzyw, jednak koszty operacyjne tej metody wzrastają wraz ze wzrostem zużycia energii. Procesy wymiany masy i ciepła, związane z przejściem fazowym, wymagają odpowiedniego nakładu energii i w związku z tym generują duże koszty [Deng i Zhao, 2008]. Zużycie energii w przemyśle suszarniczym sięga 12% całej energii zużywanej przez przemysł [Strumiłło, 2005]. Przykładowo, przy zastosowaniu suszenia wiśni w temperaturze od 50 do 70°C i przy przepływie powietrza w zakresie 0,3–0,9 m/s, minimalne i maksymalne wymagania energetyczne wynoszą od 11,57 do 39,55 kWh/kg, co wiąże się z długim czasem suszenia, od 29 do 85 h, dla różnych parametrów suszenia [Koyuncu i in., 2007].

W związku z powyższym niezbędne jest obniżenie zużycia energii przez przemysł suszarniczy. Stosowanie różnych rozwiązań konstrukcyjnych suszarek lub metod suszenia żywności [Ziling, 2014], także tych wykorzystujących ultradźwięki [Zinovy, 2015] i pulsacyjne pole elektryczne [Fujie i Wei, 2012], pozwala na uzyskanie produktu określonej jakości oraz zmniejszenie zużycia energii. Jednakże główną przeszkodą we wdrażaniu innowacyjnych urządzeń suszarniczych do przemysłu jest znaczny ich koszt.

Oszczędności można szukać poprzez zastosowanie odpowiedniej obróbki wstępnej, która będzie skracała czas suszenia i dawała wyższy stopień usuwania wody na jednostkę materiału, co także wpłynie na wysoką jakość uzyskanego suszu. Typowymi zabiegami, stosowanymi przed suszeniem owoców i warzyw, są rozdrabnianie i blanszowanie. Innymi operacjami, które różnicują przebieg procesu suszenia i właściwości produktu, są powlekanie błonami jadalnymi, moczenie i odwadnianie osmotyczne w różnych roztworach [Nowacka i Witrowa-Rajchert, 2011].

W ostatnich latach pojawiły się w literaturze naukowej informacje na temat badań nad niekonwencjonalnymi, nietermicznymi metodami obróbki wstępnej, takimi jak działanie pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF) czy ultradźwięków (US). Przykładowo, zgłoszenia patentowe w zakresie wykorzystania PEF oraz US dotyczą m.in. przedłużenia trwałości soku z wykorzystaniem PEF [Bin i in., 2014] czy lepszego zachowania barwy suszu z zastosowaniem ultradźwięków do odwadniania osmotycznego [Yunhong i in., 2015].

W literaturze naukowej prezentowane są zagadnienia dotyczące wpływu pulsacyjnego pola elektrycznego na przebieg procesu suszenia oraz na właściwości suszonego materiału. Przykładowo, obróbka wstępna tkanki roślinnej przy wykorzystaniu pulsacyjnego pola elektrycznego pozwala zwiększyć wartość współczynnika dyfuzji wody i tym samym skrócić czas suszenia. Dodatkowo, umożliwi obniżenie temperatury suszenia przy zachowaniu podobnych warunków wymiany masy, co ma duże znaczenie zarówno w odniesieniu do zużycia energii, jak i wpływa na jakość otrzymanego suszu. W publikacji [Wiktor i in., 2012] omówiono wyniki badań wpływu pulsacyjnego pola elektrycznego na przebieg suszenia i odwadniania osmotycznego. Działaniu PEF poddawano ziemniaki, marchew, buraka ćwikłowego, paprykę czerwoną. Stosowano pole elektryczne o natężeniu w zakresie 0,4–2 kV/cm. Stwierdzono, że obróbka wstępna PEF skraca czas suszenia, a także pozwala na obniżenie temperatury suszenia, w stosunku do materiału niepoddanego żadnym zabiegom wstępnym.

Analogiczne wnioski można wyciągnąć w przypadku zastosowania ultradźwięków [Witrowa-Rajchert i in., 2014]. Korzystne efekty stosowania ultradźwięków na etapie procesu suszenia opisano szczegółowo w odniesieniu do wielu owoców i warzyw. Stwierdzono, że energia akustyczna może być z powodzeniem wykorzystywana do zwiększania intensywności wymiany masy, co prowadzi zarówno

do skrócenia czasu procesu suszenia, jaki obniżenia temperatury czynnika suszącego [Konopacka i in., 2015].

Jednakże brak jest jakichkolwiek doniesień naukowych dotyczących zastosowania sekwencyjnej obróbki wstępnej tkanki roślinnej przy wykorzystaniu obu tych innowacyjnych metod jako obróbki przed procesem suszenia żywności. W technologii żywności stosowane są rozwiązania polegające na połączeniu tych dwóch metod do sterylizacji żywności płynnej [Jianping i in., 2014], ekstrakcji polifenoli z pozostałości po winogronach [Dan i in., 2013], do produkcji alkoholu owocowego [Bin i in., 2014] i obróbki mięsa [Wenlong i in., 2014].

Zważywszy na wielką skalę procesów suszenia owoców i warzyw, każda innowacja pozwalająca na obniżenie zużycia energii w czasie tego procesu ma istotne znaczenie techniczne i ekonomiczne. Dlatego ważne jest stałe dążenie do dostarczania coraz bardziej skutecznych metod suszenia. W ten nurt wpisuje się obecny wynalazek, którego celem było opracowanie metody prowadzenia obróbki wstępnej stosowanej przed procesem suszenia surowców roślinnych, która pozwoliłaby na znaczne skrócenie czasu suszenia i obniżenia kosztów tego procesu, w porównaniu do istniejących metod. Cel ten został osiągnięty dzięki zastosowaniu obróbki wstępnej z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego i ultradźwięków stosowanych w określonej sekwencji i przy określonych parametrach obróbki wstępnej.

Sposób obróbki wstępnej surowców roślinnych przed procesem suszenia według wynalazku charakteryzuje się tym, że surowiec roślinny poddaje się działaniu ultradźwięków przy zastosowaniu metody immersyjnej lub kontaktowej przez czas od 15 do 30 minut, przy zastosowaniu częstotliwości od 20 do 40 kHz, oraz traktowaniu pulsacyjnego pola elektrycznego przy natężeniu od 1,85 kV/cm do 8 kV/cm i liczbie impulsów od 10 do 100, a częstotliwość aplikowania impulsów w etapie traktowania pulsacyjnym polem elektrycznym wynosi od 0,5 do 1,0 Hz.

Po wstępnej obróbce sposobem według wynalazku surowiec roślinny suszy się znaną metodą, np. metodą konwekcyjną albo mikrofalowo-konwekcyjną.

Sposób według wynalazku przewiduje stosowanie specyficznej kombinacji metod obróbki, co wpływa na poprawę przebiegu procesu suszenia oraz modyfikację właściwości tkanki roślinnej. Zastosowanie zabiegu wstępnego obejmuje zastosowanie obróbki pulsacyjnym polem elektrycznym (PEF) z wykorzystaniem szerokiego zakresu natężenia pola elektrycznego i energii dostarczonej do produktu oraz sonikacji jedną z dwóch wybranych metod – immersyjną (iUS) i kontaktową (cUS), przy określonych częstotliwościach, przy zastosowaniu określonego czasu oddziaływania ultradźwiękami oraz w kolejności aplikacji: pulsacyjne pole elektryczne a następnie sonikacja (PEF+US) lub sonikacja a następnie aplikacja pulsacyjnego pola elektrycznego (US+PEF). Taki sposób prowadzenia obróbki wstępnej surowców roślinnych stosowany przed procesem suszenia pozwala na skrócenie czasu suszenia do 39% oraz na redukcję zużycia energii do 25% w porównaniu z materiałem niepoddanym żadnej obróbce technologicznej. W porównaniu z materiałem poddanym obróbce tylko pulsacyjnym polem elektrycznym albo tylko działaniu ultradźwięków zużycie energii spada o co najmniej 5%.

Aplikacja pulsacyjnego pola elektrycznego polega na ekspozycji materiału na działanie bardzo krótkich impulsów charakteryzujących się wysoką wartością natężenia pola elektrycznego poprzez jego umieszczenie pomiędzy dwiema elektrodami w komorze obróbki elektrycznej. W konsekwencji obróbka ta prowadzi do zjawiska zwanego elektroporacją, które w uproszeniu polega na elektrycznie indukowanej perforacji błony komórkowej, będącej głównym czynnikiem limitującym przebieg procesów opartych na wymianie masy i ciepła (np. suszenia). Zjawisko elektroporacji może mieć charakter odwracalny (RE) lub nieodwracalny (IRE). W przypadku elektroporacji odwracalnej (RE) perforacja błony komórkowej ma charakter tymczasowy, a komórka może po pewnym czasie powrócić do normalnego funkcjonowania. Niemniej jednak zjawisko to jest czynnikiem powodującym występowanie tzw. stresu oksydacyjnego. W przypadku elektroporacji nieodwracalnej dochodzi do stałego przerwania ciągłości błony komórkowej, co w konsekwencji może prowadzić do nieodwracalnych zmian w budowie komórki oraz do jej śmierci. Parametry pola elektrycznego mogą być zatem dobierane w taki sposób, aby prowadziły do elektroporacji odwracalnej lub nieodwracalnej, w zależności od pożądanego celu technologicznego, przy czym ich wielkość uzależniona jest zarówno od właściwości produktu, jak i od charakterystyki urządzenia do aplikacji PEF. W przetwórstwie żywności elektroporacja nieodwracalna może zostać zastosowana jako etap obróbki wstępnej surowca, wspomagający przebieg dalszych procesów, lub jako samodzielny proces, np. w przypadku utrwalenia materiału. Z kolei elektroporacja odwracalna znajduje zastosowanie w inżynierii genetycznej do wprowadzania obcego DNA lub innych substancji do wnętrza komórki, do

indukowania reakcji stresowych stymulujących np. produkcję metabolitów wtórnych (Toepfl i wsp., 2006).

Ze względu na specyfikę aplikacji pola elektrycznego (uwarunkowaną prawem Paschena i wytrzymałością elektryczną) aplikacja powinna odbywać się w materiale wolnym od powietrza, ze względu na możliwość przebicia elektrycznego (Mohamed i wsp., 2012). Żywność o budowie tkankowej na ogół charakteryzuje się heterogennym składem oraz strukturą, co powoduje, że w jej budowie mogą istnieć przestrzenie wypełnione powietrzem. W przypadku przebicia dochodzi do nagłego przepływu prądu i w konsekwencji do zniszczenia naturalnego lub nadanego kształtu (np. lokalne przekształcenie plastrów do postaci pulpy) oraz do zmiany innych właściwości fizykochemicznych (np. zawartości związków bioaktywnych) (Parniakov i wsp., 2016). Tego typu zjawisko jest także niszczące dla elektrod zainstalowanych w komorze obróbki elektrycznej. W związku z powyższym obróbka żywności o budowie tkankowej pulsacyjnym polem elektrycznym wymaga zalania komory obróbki elektrycznej płynem, tak aby z jednej strony poprawić kontakt pomiędzy elektrodami, a z drugiej ograniczyć zjawisko przebicia elektrycznego. Procedura ta nie eliminuje jednak usunięcia powietrza z przestrzeni międzykomórkowych, które może być zawarte w przetwarzanym materiale pochodzenia roślinnego ze względu na jego heterogeniczną budowę i może ograniczać efektywność oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego.

Z kolei sonikacja (aplikacja ultradźwięków) prowadzi do kawitacji oraz tzw. efektu gąbki, który polega na powstawaniu następujących po sobie serii kompresji i rozprężeń materiału (Ulloa i wsp. 2015). Tego typu zjawiska prowadzą do zmian struktury wewnętrznej materiału poprzez lokalne alteracje błony komórkowej oraz tworzenie się tzw. mikrokanalów, ułatwiających wymianę masy pomiędzy otoczeniem a wnętrzem materiału poddawanego obróbce. Zjawisko kawitacji oraz efekt gąbki (jako konsekwencja rozchodzenia się przez materiał fali akustycznej) prowadzi do odgazowania materiału czyli usunięcia powietrza z surowca poddawanego obróbce (Bermúdez-Aguirre i wsp. 2011).

W związku z powyższym połączenie aplikacji pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF) oraz ultradźwięków (US) zarówno w sekwencji PEF+US jak i US+PEF wiąże się z pozytywnymi konsekwencjami. Zastosowanie sonikacji (US) przed aplikacją pulsacyjnego pola elektrycznego pozwala odgazować materiał, co sprawia, że efektywność aplikacji PEF (efektywność elektroporacji) wzrasta. Z kolei zastosowanie ultradźwięków bezpośrednio po obróbce pulsacyjnym polem elektrycznym pozwala „rozluźnić” poprzez efekt gąbki i tworzenie mikrokanalów strukturę wewnętrzną uszkodzoną na drodze elektroporacji – dzięki takiej obróbce efektywność oddziaływania US będzie większa. W obu przypadkach osiągnięty zostaje korzystny cel technologiczny pozwalający na intensyfikację procesów opartych na wymianie masy i ciepła, w tym przypadku suszenia. Wybór sekwencji zastosowania ultradźwięków oraz pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF+US lub US+PEF) powinien być podyktowany zarówno możliwościami adaptacyjno-technologicznymi zakładów przetwórczych, jak i specyfiką danego surowca. Przykładowo, ultradźwięki mogą być aplikowane w trakcie procesu mycia przetwarzanych owoców i warzyw – wówczas sonikacja poprzedza może aplikację PEF. Innym rozwiązaniem byłoby aplikowanie US po aplikacji PEF np. podczas zanurzenia materiału (np. jabłek) w roztworze kwasu cytrynowego i/lub askorbinowego przed procesem suszenia – w takim przypadku zastosowaną sekwencją byłaby aplikacja PEF+US.

Jak pokazały przeprowadzone badania (opisane w przykładach) czynnikiem, który powinien także decydować o wyborze sekwencji PEF i US jest porowatość materiału. Przeprowadzone na przykładzie jabłka (jako materiału bardzo porowatego) oraz marchwi (o porowatości mniejszej niż jabłko) badania wskazują, że zastosowanie sekwencji US+PEF jest skuteczniejsze co do intensyfikacji procesu suszenia w przypadku materiałów bardziej porowatych, zawierających więcej powietrza w przestrzeniach międzykomórkowych. Z kolei sekwencja PEF+US prowadzi do osiągnięcia lepszych rezultatów niż US+PEF, gdy materiał jest mniej porowaty, a jego struktura jest bardziej zbita i wymaga dodatkowego rozluźnienia.

Na podobnych zasadach powinno się dokonać wyboru metody aplikacji ultradźwięków (metoda immersyjna lub kontaktowa). Jeśli przed suszeniem produkt miałby być osuszany lub nie ma potrzeby zanurzenia go w żadnym roztworze wodnym wskazane jest stosowanie metody kontaktowej, natomiast jeśli istnieje konieczność zanurzenia materiału w pewnych roztworach, to taka sytuacja implikuje konieczność zastosowania sonikacji immersyjnej.

Sposób według wynalazku został bliżej przedstawiony w przykładach stosowania.

Przykład 1

W celu skrócenia czasu suszenia konwekcyjnego tkanki marchwi zastosowano obróbkę wstępną metodą kombinowaną z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków. Korzeń

marchwi rozdrabniano do postaci walców (prostopadle do głównej osi korzenia) o wymiarach 30x5 mm, a następnie poddawano obróbce technologicznej składającej się z obróbki wstępnej oraz suszenia konwekcyjnego. Obróbkę wstępną realizowano metodą kombinowaną składającą się z aplikacji pulsacyjnego pola elektrycznego oraz sonikacji. Obróbkę pulsacyjnym polem elektrycznym prowadzi się stosując 10 impulsów o natężeniu 5 kV/cm przy wykorzystaniu reaktora wysokonapięciowego ERTEC przy częstotliwości aplikowania impulsów wynoszącej 0,5 Hz. Podczas aplikacji PEF materiał umieszczony jest w komorze o kształcie walca, której ścianki wykonane są z materiału dielektrycznego, a dekle elektrod ze stali nierdzewnej. Natomiast aplikację ultradźwięków metodą immersyjną prowadzi się przez 20 min. stosując myjkę ultradźwiękową MKD Ultrasonic pracującą przy częstotliwości 21 kHz. Sonikacja kontaktowa z kolei realizowana jest stosując generator ultradźwięków wraz z sonotrodą HIELSHER poprzez umieszczenie materiału na sitach o perforacji 500 μm i załączenie generatora. Aplikacja może odbywać się w kolejności PEF+US lub US+PEF, przy wykorzystaniu sonikacji immersyjnej lub kontaktowej. Po obróbce tkankę roślinną umieszczano w suszarce konwekcyjnej w temperaturze 70°C, przy przepływie powietrza 2 m/s, rejestrując zmiany masy materiału. W trakcie obróbki technologicznej rejestrowano także zużycie energii, przeliczając je następnie na właściwe zużycie energii w odniesieniu do ilości usuniętej wody.

Czas suszenia konwekcyjnego referencyjnej tkanki marchwi (niepoddanej żadnej obróbce technologicznej) wyniósł 297,5 minuty (do względnej zawartości wody $MR=0,02$). Czas suszenia marchwi poddanej obróbce wstępnej sekwencyjną metodą kombinowaną z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków uległ skróceniu o 18 i 14% w przypadku, gdy zastosowano odpowiednio sonikację kontaktową oraz sonikację immersyjną, a sekwencja aplikacji uwzględniała najpierw aplikację ultradźwięków, a następnie pulsacyjnego pola elektrycznego (US+PEF). Z kolei gdy zastosowano sekwencję PEF+US (najpierw obróbka pulsacyjnym polem elektrycznym, a następnie ultradźwiękami) czas suszenia uległ skróceniu o 32 i 39% odpowiednio przy zastosowaniu sonikacji kontaktowej i immersyjnej. Obniżenie właściwego zużycia energii było proporcjonalne do skrócenia czasu suszenia i wynosiło maksymalnie 25%. Natomiast gdy zastosowano wyłącznie aplikację PEF lub US (przy badanych parametrach) obniżenie właściwego zużycia energii podczas suszenia sięgało maksymalnie 19%.

P r z y k ł a d 2

W celu skrócenia czasu suszenia konwekcyjnego tkanki jabłka zastosowano obróbkę wstępną metodą kombinowaną z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków. Jabłko rozdrabniano do postaci walców (prostopadle do głównej osi owocu) o wymiarach 30x5 mm, a następnie poddawano obróbce technologicznej składającej się z obróbki wstępnej oraz suszenia konwekcyjnego. Obróbkę wstępną realizowano metodą kombinowaną składającą się z aplikacji pulsacyjnego pola elektrycznego oraz sonikacji. Obróbkę pulsacyjnym polem elektrycznym prowadzi się stosując 10 impulsów o natężeniu 5 kV/cm, przy wykorzystaniu reaktora wysokonapięciowego ERTEC, przy częstotliwości aplikowania impulsów wynoszącej 0,5 Hz. Podczas aplikacji PEF materiał umieszczony jest w komorze o kształcie walca, której ścianki wykonane są z materiału dielektrycznego, a dekle elektrod ze stali nierdzewnej. Natomiast aplikację ultradźwięków metodą immersyjną prowadzi się przez 20 min. stosując myjkę ultradźwiękową MKD Ultrasonic pracującą przy częstotliwości 40 kHz. Sonikacja kontaktowa z kolei realizowana jest stosując generator ultradźwięków wraz z sonotrodą HIELSHER poprzez umieszczenie materiału na sitach o perforacji 500 μm i załączenie generatora. Aplikacja może odbywać się w kolejności PEF+US lub US+PEF, przy wykorzystaniu sonikacji immersyjnej lub kontaktowej. Po obróbce tkankę jabłka umieszczano w suszarce konwekcyjnej w temperaturze 70°C, przy przepływie powietrza 2 m/s, rejestrując zmiany masy materiału. W trakcie obróbki technologicznej rejestrowano także zużycie energii, przeliczając je następnie na właściwe zużycie energii w odniesieniu do ilości usuniętej wody.

Czas suszenia konwekcyjnego (do $MR=0,01$) referencyjnej tkanki jabłka (niepoddanej żadnej obróbce technologicznej) wyniósł 157,5 minuty. Czas suszenia jabłka poddanego obróbce wstępnej sekwencyjną metodą kombinowaną z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków uległ skróceniu o 27 i 24% w przypadku, gdy zastosowano odpowiednio sonikację kontaktową oraz sonikację immersyjną, a sekwencja aplikacji uwzględniała najpierw aplikację ultradźwięków, a następnie pulsacyjnego pola elektrycznego (US+PEF). Z kolei gdy zastosowano sekwencję PEF+US (najpierw obróbka pulsacyjnym polem elektrycznym a następnie ultradźwiękami) czas suszenia uległ skróceniu o 21 i 16% odpowiednio przy zastosowaniu sonikacji kontaktowej i immersyjnej. Obniżenie właściwego

zużycia energii było proporcjonalne do skrócenia czasu suszenia i wynosiło maksymalnie 17%. Natomiast gdy zastosowano wyłącznie aplikację PEF lub US (przy badanych parametrach) obniżenie właściwego zużycia energii podczas suszenia sięgało maksymalnie 11%.

Przykład 3

W celu skrócenia czasu suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego tkanki marchwi zastosowano obróbkę wstępną metodą kombinowaną z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków. Korzeń marchwi rozdrabniano do postaci walców (prostopadle do głównej osi korzenia) o wymiarach 30x5 mm, a następnie poddawano obróbce technologicznej składającej się z obróbki wstępnej oraz suszenia konwekcyjnego. Obróbkę wstępną realizowano metodą kombinowaną składającą się z aplikacji pulsacyjnego pola elektrycznego oraz sonikacji. Obróbkę pulsacyjnym polem elektrycznym prowadzi się stosując 10 impulsów o natężeniu 5 kV/cm, przy wykorzystaniu reaktora wysokonapięciowego ERTEC, przy częstotliwości aplikowania impulsów wynoszącej 0,5 Hz. Podczas aplikacji PEF materiał umieszczony jest w komorze o kształcie walca, której ścianki wykonane są z materiału dielektrycznego, a dekle elektrod ze stali nierdzewnej. Natomiast aplikację ultradźwięków metodą immersyjną prowadzi się przez 20 min. stosując myjkę ultradźwiękową MKD Ultrasonic pracującą przy częstotliwości 21 kHz. Sonikacja kontaktowa z kolei realizowana jest stosując generator ultradźwięków wraz z sonotrodą HIELSHER poprzez umieszczenie materiału na sitach o perforacji 500 μm i załączenie generatora. Aplikacja może odbywać się w kolejności PEF+US lub US+PEF, przy wykorzystaniu sonikacji immersyjnej lub kontaktowej. Po obróbce tkankę roślinną umieszczano w suszarce mikrofalowo-konwekcyjnej w temperaturze 40°C, przy przepływie powietrza 2 m/s oraz przy mocy mikrofal 200 W, rejestrując zmiany masy materiału. W trakcie obróbki technologicznej rejestrowano także zużycie energii, przeliczając je następnie na właściwe zużycie energii w odniesieniu do ilości usuniętej wody.

Czas suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego referencyjnej tkanki marchwi (niepoddanej żadnej obróbce technologicznej) wyniósł 83 minuty. Czas suszenia marchwi poddanej obróbce wstępnej sekwencyjną metodą kombinowaną z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków wynosił od 42 do 61 minut, co oznacza, że uległ skróceniu o 36 i 49% w przypadku, gdy zastosowano odpowiednio sonikację kontaktową oraz sonikację immersyjną, a sekwencja aplikacji uwzględniała najpierw aplikację ultradźwięków, a następnie pulsacyjnego pola elektrycznego (US+PEF). Z kolei gdy zastosowano sekwencję PEF+US (najpierw obróbka pulsacyjnym polem elektrycznym a następnie ultradźwiękami) czas suszenia uległ skróceniu o 34 i 27% odpowiednio przy zastosowaniu sonikacji kontaktowej i immersyjnej. Obniżenie właściwego zużycia energii było proporcjonalne do skrócenia czasu suszenia i wynosiło maksymalnie 31%. Natomiast gdy zastosowano wyłącznie aplikację PEF lub US (przy badanych parametrach) obniżenie właściwego zużycia energii podczas suszenia sięgało maksymalnie 25%.

Przykład 4

W celu skrócenia czasu suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego tkanki jabłka zastosowano obróbkę wstępną metodą kombinowaną z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków. Owoce rozdrabniano do postaci walców (prostopadle do głównej osi jabłka) o wymiarach 30x5 mm, a następnie poddawano obróbce technologicznej składającej się z obróbki wstępnej oraz suszenia konwekcyjnego. Obróbkę wstępną realizowano metodą kombinowaną składającą się z aplikacji pulsacyjnego pola elektrycznego oraz sonikacji. Obróbkę pulsacyjnym polem elektrycznym prowadzi się stosując 10 impulsów o natężeniu 5 kV/cm, przy wykorzystaniu reaktora wysokonapięciowego ERTEC, przy częstotliwości aplikowania impulsów wynoszącej 0,5 Hz. Podczas aplikacji PEF materiał umieszczony jest w komorze o kształcie walca, której ścianki wykonane są z materiału dielektrycznego a dekle elektrod ze stali nierdzewnej. Natomiast aplikację ultradźwięków metodą immersyjną prowadzi się przez 20 min. stosując myjkę ultradźwiękową MKD Ultrasonic pracującą przy częstotliwości 40 kHz. Sonikacja kontaktowa z kolei realizowana jest stosując generator ultradźwięków wraz z sonotrodą HIELSHER poprzez umieszczenie materiału na sitach o perforacji 500 μm i załączenie generatora. Aplikacja może odbywać się w kolejności PEF+US lub US+PEF, przy wykorzystaniu sonikacji immersyjnej lub kontaktowej. Po obróbce tkankę roślinną umieszczano w suszarce mikrofalowo-konwekcyjnej w temperaturze 40°C, przy przepływie powietrza 2 m/s oraz przy mocy mikrofal 250 W, rejestrując zmiany masy materiału. W trakcie obróbki technologicznej rejestrowano także zużycie energii, przeliczając je następnie na właściwe zużycie energii w odniesieniu do ilości usuniętej wody.

Czas suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego referencyjnej tkanki jabłka (niepoddanej żadnej obróbce technologicznej) wyniósł 31 minuty. Czas suszenia jabłka poddanego obróbce wstępnej sekwencyjną metodą kombinowaną z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków

wynosił od 24 do 28 minut, co oznacza, że uległ skróceniu o 10 i 23% w przypadku, gdy zastosowano odpowiednio sonikację kontaktową oraz sonikację immersyjną, a sekwencja aplikacji uwzględniała najpierw aplikację ultradźwięków, a następnie pulsacyjnego pola elektrycznego (US+PEF). Z kolei gdy zastosowano sekwencję PEF+US (najpierw obróbka pulsacyjnym polem elektrycznym a następnie ultradźwiękami) czas suszenia uległ skróceniu o 16 i 23% odpowiednio przy zastosowaniu sonikacji kontaktowej i immersyjnej. Obniżenie właściwego zużycia energii było proporcjonalne do skrócenia czasu suszenia i wynosiło maksymalnie 41%. Natomiast gdy zastosowano wyłącznie aplikację PEF lub US (przy badanych parametrach) obniżenie właściwego zużycia energii podczas suszenia sięgało maksymalnie 14%.

LITERATURA:

1. Bin Z., Ziguang X., Jun W., Tianyi Z., Chunning W., 2014. Method for treating fruit juice by pulsed electric field cooperating with microwave and antioxidant, CN104621675 (A).
2. Bin Z., Ziguang X., Jun W., Tianyi Z., Chunning W., 2014. Method for ultrasonic wave pulsed electric field collaborative supercritical production of fruit alcohol, CN104593213 (A).
3. Chou S.K., Chua K.J., 2001: New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends Food Sci. and Technol.*, 12(10), 359–369.
4. Dan L., Dawen S., Xin An Z., Zhong H., 2013. Method for extracting grape skin residue polyphenols by synergy of ultrasound and pulsed electric field, CN103224538 (A).
5. Deng Y., Zhao Y., 2008: Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). *LWT – Food Sci. Technol.*, 41, 1575–1585.
6. Fujie Z., Wei Y., 2012. A high-voltage pulsed electric field device for drying pretreatment of solid agricultural products, CN202853260 (U).
7. Janowicz M., Lenart A., 2007: Rozwój i znaczenie operacji wstępnych w suszeniu żywności. *Właściwości Fizyczne Suszonych Surowców i Produktów Spożywczych*, Komitet Agrofizyki PAN, Wyd. Naukowe FRNA, Lublin, 15–33.
8. Jianping W., Chenang L., Jian G., Kang H., Jianyi Z., 2014. Liquid food sterilization device based on pulsed electric field and ultrasonic wave field, CN103876241 (A).
9. Koyuncu T., Tosun F., Pinar Y., 2007: Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas L.*). *J. Food Eng.*, 78(2), 735–739.
10. Lewicki P.P., 2006: Design of hot air drying for better foods. *Trends Food Sci. Technol.*, 17(4), 153–163.
11. Nowacka M., Witrowa-Rajchert D., 2011: Procesy wstępne stosowane przed suszeniem owoców i warzyw. *Przemysł spożywczy* 6/2011, T. 65, nr 6, s. 36–38.
12. Strumiłło C., 2005: On perspective developments in drying. *Materiały z Sympozjum "Proceedings of the 11th Polish Drying Symposium XI PSS"*, Poznań, Polska, 13–16 września 2005 r., materiały dostępne na CD-romie.
13. Wenlong L., Wei W., Jiain Z., Yongxian Z., 2014. Method for processing pot-stewed meat products adopting pulsed electric field and pulsed ultrasound, CN104938606 (A).
14. Witrowa-Rajchert D., Wiktor A., Sledz M., Nowacka M. 2014. Selected emerging technologies to enhance the drying process: A review. *Dry Technol.*, 32: 1386–1396, 2014.
15. Yunhong L., Leyan W., Yue S., Xiaofang L., Huichun Y., 2015. Method for vacuum drying through combination of ultrasonic osmosis dehydration and color-protection, CN104798875 (A).
16. Ziling Y., 2014. Hot air food drying device, CN105707651 (A).
17. Zinovy P., 2015. Ultrasonic drying system and method, US2015233637 (A1).
18. Konopacka, D., Plocharski, W., Siucinska, K., Kowalski, S. J., & Mierzwa, D. 2015. Wykorzystanie ultradźwięków jako techniki wspomaganie procesu suszenia owoców i warzyw. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 59(09).
19. Wiktor, A., Witrowa-Rajchert, D. (2012). Applying pulsed electric field to enhance plant tissue dehydration process. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 19(2), 22–32.
20. Bermúdez-Aguirre, D., Mobbs, T., & Barbosa-Cánovas, G. V. 2011. Ultrasonic applications in food processing. In *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*, Springer New York, 65–105.

21. Ulloa, J. A., Enriquez López, K. V., Contreras Morales, Y. B., Rosas Ulloa, P., Ramirez Ramirez, J. C., & Ulloa Rangel, B. E. 2015. Effect of ultrasound treatment on the hydration kinetics and cooking times of dry beans (*Phaseolus vulgaris*). *CyTA-Journal of Food*, 13(4), 588–596.
22. Parniakov, O., Barba, F. J., Grimi, N., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2016). Extraction assisted by pulsed electric energy as a potential tool for green and sustainable recovery of nutritionally valuable compounds from mango peels. *Food chemistry*, 192, 842–848.
23. Mohamed, M. E., Ayman, H., & Eissa, A. (2012). Pulsed electric fields for food processing technology. *INTECH Open Access Publisher*, 275–306.
24. Toepfl, S., Heinz, V., Knorr, D. (2006). Application of pulsed electric fields technology for the food industry. In: *Pulsed Electric Fields Technology For The Food Industry. Fundamentals and Applications* (eds. J. Raso-Pueyo, V. Heinz), Springer Science+Buisness Media, LLC, USA, 197–221.

Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób obróbki wstępnej surowców roślinnych przed procesem suszenia, **znamienny tym**, że surowiec roślinny poddaje się działaniu ultradźwięków przy zastosowaniu metody immersyjnej lub kontaktowej przez czas od 15 do 30 minut, przy zastosowaniu częstotliwości od 20 do 40 kHz, oraz traktuje się pulsacyjnym polem elektrycznym przy natężeniu od 1,85 kV/cm do 8 kV/cm i liczbie impulsów od 10 do 100, przy czym kolejność etapów jest dowolna, a częstotliwość aplikowania impulsów w etapie traktowania pulsacyjnym polem elektrycznym jest większa od 0,5 i mniejsza od 1,0 Hz.