

Mgr inż. Kinga CZAJKOWSKA

Dr hab. inż. Hanna KOWALSKA

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

METODY WYTWARZANIA PRZEKĄSEK OWOCOWYCH WZBOGACANYCH W SKŁADNIKI NATURALNE®

Methods of manufacturing fruit snacks enriched in natural ingredients®

Słowa kluczowe: przekąski owocowe, odwadnianie osmotyczne, metody suszenia.

Celem artykułu jest przedstawienie metod umożliwiających otrzymywanie suszy owocowych wzbogaconych w składniki naturalne. Odwadnianie osmotyczne jest dość często stosowane do wytwarzania produktów o wysokich walorach odżywczych i sensorycznych. Istotną zaletą tego procesu jest możliwość wzbogacania tkanki roślinnej w dodatkowe składniki, np. w wyniku dodawania soków owocowych do roztworu osmotycznego. Przedstawiono i porównano wybrane metody suszenia (konwekcyjne, hybrydowe, liofilizacyjne). W ostatnich latach technika suszenia hybrydowego będąca połączeniem kilku metod znajduje zainteresowanie ze względu na właściwości suszu podobne do suszy liofilizacyjnych.

Key words: fruit snack, osmotic dehydration, drying methods.

The aim of this study article was to present methods which permit to obtain dried fruit enriched in natural ingredients. Osmotic dehydration is a method which allows to obtain products characterised by valuable nutritional and sensory properties. An important advantage of the process is the possibility of enriching the plant tissue with additional ingredients, e.g. by adding fruit juices to the osmotic solution. The article presents and compares chosen methods of drying such as convective-, hybrid- and freeze-drying. Recently hybrid technique as a combination of several methods, is interesting because of the droughts are similar to lyophilisation properties.

WSTĘP

Racjonalnie skomponowana dieta skutecznie ogranicza ryzyko zapadalności na tzw. choroby niezakaźne, w tym schorzenia układu sercowo-naczyniowego, stanowiące obecnie główną przyczynę zgonów Europejczyków. W celu zapobiegania m.in. chorobom dietozależnym w Polsce uruchomiono Narodowy Program Zdrowia obejmujący lata 2016-2020, którego podstawowe zadania strategiczne skupiają się na czynnikach wpływających na wydłużenie życia, poprawę zdrowia i jakość życia [28]. W związku z aktualnymi trendami asortyment produktów wysokiej jakości, mający zastosowanie w profilaktyce, ulega stopniowemu rozszerzeniu i stanowi alternatywę dla produktów wysokokalorycznych.

Trendy w dążeniu do zdrowego stylu życia wpływają na rozwój światowego przemysłu spożywczego, w tym sektora owoców. Obecnie niewiele firm wytwarza przekąski w postaci suszy owocowych. Najczęściej susze owocowe są wykorzystywane jako składniki innych produktów. Tradycyjną metodą ich otrzymywania jest suszenie konwekcyjne, często poprzedzone zabiegami chemicznymi, jak np. sulfatacja. Proces suszenia konwekcyjnego zachodzi w podwyższonej temperaturze (60-70°C) przy silnym napowietrzaniu materiału. W konsekwencji następuje obniżenie wartości żywieniowej suszy [32]. Konsumenty coraz częściej zwracając uwagę

na jakość i wartość odżywczą żywności, wybierają produkty mniej przetworzone, bardziej naturalne, jak np. przekąski z suszonych owoców. Wśród obiecujących technik w wytwarzaniu żywności można wyróżnić te, które zapewniają otrzymanie wygodnych i wartościowych żywieniowo produktów typu premium. Poszukuje się sposobów przetwarzania owoców, które pozwolą uzyskać atrakcyjne produkty wzbogacone w wybrane bioskładniki. Ponadto produkty powinny być atrakcyjne pod względem barwy, smaku, zapachu i tekstury.

Zastosowanie odwadniania osmotycznego i wzbogacania w bioskładniki (obróbka wstępna) oraz odpowiednich metod suszenia może wpływać na zwiększenie wartości odżywczej, poprawę cech sensorycznych i funkcjonalnych produktów suszonych w porównaniu do metod tradycyjnych.

Ze względu na czołowe miejsce polskich producentów jabłek na świecie, owoce te wydają się być najlepszym surowcem do produkcji atrakcyjnych przekąsek w postaci suszu. Obecnie cena jabłek jest relatywnie niska, a problemy z eksportem skłaniają do poszukiwania sposobów na jak najszerzej wykorzystanie tego surowca w przemyśle i gospodarstwach domowych [30]. Jabłka, jak i inne owoce, mogą być również przetwarzane na soki, koncentraty lub ekstrakty z wytlóków i wykorzystywane jako składniki roztworów osmotycznych do wzbogacania suszy w naturalne bioskładniki [34].

Celem artykułu jest omówienie możliwości wytwarzania przekąsek z owoców wzbogacanych w naturalne składniki bioaktywne z wykorzystaniem wstępnej obróbki osmotycznej połączonej ze wzbogacaniem oraz wybranymi metodami suszenia.

ODWADNIANIE OSMOTYCZNE

Odwadnianie osmotyczne jest przeciwprądowym procesem przenoszenia masy w wyniku zanurzenia tkanki roślinnej w roztworze hipertonicznym. Jego zasadniczym celem jest podwyższenie trwałości żywności o budowie tkankowej przez częściowe usunięcie wody z surowca w postaci nie związanej lub zmiana składu chemicznego odwadnianego materiału. Proces ten pozwala usunąć wodę bez przemiany fazowej, co ogranicza niepożądane zmiany w surowcu. Różnica ciśnienia osmotycznego pomiędzy odwadnianym materiałem (sokiem komórkowym) a roztworem zapewnia niezbędną siłę napędową do usunięcia wody z tkanki roślinnej. W porównaniu do termicznych metod usuwania wody, odwadnianie osmotyczne owoców lub warzyw w umiarkowanych temperaturach pozwala uzyskać produkt zachowujący walory surowca. Rosnąca popularność odwadniania osmotycznego w przetwarzaniu żywności wynika z polepszenia cech jakościowych produktów, jak również skrócenia czasu i zwiększenia wydajności procesów końcowego utrwalania, m.in. suszenia i mrożenia [1, 15].

Analizując mechanizm odwadniania osmotycznego, intensywność wymiany masy podczas tego procesu zależy od przepuszczalności błon komórkowych i struktury komórkowej [2]. Przepływ wody z odwadnianego materiału powoduje kurczenie się tkanki utrudniając przepływ masy, który zachodzi od warstw powierzchniowych materiału w kierunku jego centrum. Krótki czas odwadniania (60-120 minut) powoduje, że komórki znajdujące się bliżej powierzchni różnią się zawartością substancji osmotycznej i wody od komórek znajdujących się w środku materiału. Po dłuższym czasie, trwającym niekiedy nawet kilkanaście godzin, wymiana masy może osiągnąć stan równowagi [16]. W celu osiągnięcia pożądanego efektu wymiany masy i ewentualnego skrócenia czasu trwania, można modyfikować warunki procesu. Do najważniejszych czynników w tym zakresie należy rodzaj surowca oraz zastosowanie odpowiedniego składu i stężenia roztworu osmotycznego a także temperatury.

Dzięki półprzepuszczalnym właściwościom błon komórkowych, które mogą być tracone w wysokiej temperaturze, odwadnianie osmotyczne tkanki roślinnej powoduje, że substancje rozpuszczone w wodzie będące składnikami soku komórkowego, tj. kwasy organiczne, związki mineralne, substancje zapachowe i barwniki przenikają z tkanki do roztworu hipertonicznego. W ten sposób mogą być tracone cenne bioskładniki. Transfer ten jest nieistotny ilościowo, ale ważny pod względem składu chemicznego produktu [24, 38]. Jednocześnie odpowiedni skład roztworu osmotycznego, zawierający przykładowo związki mineralne, witaminy, umożliwia zmianę składu chemicznego żywności przez wzbogacenie produktu nie tylko w substancję osmotyczną, ale także inne substancje celowo dodane do roztworu hipertonicznego. Stężenie a także rodzaj substancji osmotycznej ma kluczowy wpływ na odwadnianie osmotyczne oraz końcowe cechy produktu. Ze względu na efektywność, wygodę użycia oraz

pożądany smak i zapach sacharoza stała się najczęściej stosowaną substancją do osmotycznego odwadniania tkanki roślinnej, zarówno w badaniach naukowych jak i w przetwórstwie przemysłowym. Sacharoza przyczynia się do lepszego zachowania substancji zapachowych zawartych w surowcu, jest inhibitorem enzymów polifenolowej oksydacji, a także zapobiega fermentacji prowadzonej przez drożdże i pleśnie [19]. Wielu konsumentów poszukuje na rynku produktów o obniżonej zawartości cukru, dlatego ciekawym rozwiązaniem jest komponowanie roztworów osmotycznych zawierających soki owocowe, ich koncentraty a nawet ekstrakty pochodzące z wyłoków owocowych [9, 10, 17, 22]. Taki sposób pozwala wzbogacać żywność w dodatkowe składniki bioaktywne, kształtować lub stabilizować barwę i smak produktu. Umożliwia to jednocześnie zwiększenie atrakcyjności produktu pod względem jakości sensorycznej i odżywczej [3]. Inną zaletą takich działań jest możliwość zagospodarowania okresowej nadprodukcji owoców poprzez przetwarzanie ich na soki lub koncentraty soków, które mogą być wykorzystywane jako substancja osmotyczna [9, 10, 17, 22]. Skład zastosowanego roztworu musi być optymalny, również ze względu na możliwość prowadzenia dalszych operacji przetwarzania [15, 19]. W ten sposób możliwe jest kreowanie smaku, barwy, struktury, a także wartości odżywczych produktu, co czyni go bardziej przydatnym do dalszego przetwarzania [37].

Wykazano różnorodne uwarunkowania związane z odwadnianiem osmotycznym tkanki roślinnej w połączeniu z wzbogacaniem. Piasecka i wsp. [25] odwadniali osmotycznie mrożone owoce wiśni i czarnych porzeczek w roztworach sacharozy zawierających fruktooligosacharydy (wzorcowy prebiotyki). Analizując zawartość fruktooligosacharydów (FOS) w odwadnianych owocach najlepszy efekt uzyskano stosując roztwór FOS o stężeniu 60% bez udziału sacharozy (3,2-14,1 g FOS/100 g). Stwierdzono, że efektywność procesu odwadniania osmotycznego w dużym stopniu zależy od rodzaju surowca poddanego obróbce. W porównaniu do wiśni, mrożone porzeczki były odporne na odwadnianie osmotyczne i wymagały zastosowania temperatury $\geq 60^{\circ}\text{C}$ [25]. W powyższych badaniach wykazano również, że zbyt wysoka temperatura nie może być stosowana ze względu na hydrolizę fruktooligosacharydów. Innowacyjne badania pod kątem wzbogacania jabłek, m.in. w szczepie *Lactobacillus casei*, przeprowadzili Betoret i wsp. [4]. Dotychczas bakterie były wykorzystywane głównie w przetwórstwie mleczarskim, ale jak wykazały badania, mogą być one z powodzeniem zastosowane również w branży owocowej. Czajkowska i wsp. [10] prowadząc osmotyczne odwadnianie jabłek, do bazowego roztworu sacharozy zastosowali dodatek inuliny, będącej również prebiotykiem. W literaturze opisane są różne eksperymenty związane ze zwiększaniem zawartości witamin i związków mineralnych w odwadnianych surowcach roślinnych [33]. Kowalska i Gierada [18] odwadnianiu osmotycznemu poddali jabłka z równoczesnym nasyceniem ich witaminą C (kwasem askorbinowym). Wykazano, że wraz z wydłużaniem procesu i podwyższaniem temperatury z 20 do 40°C obserwowano większą zawartość kwasu askorbinoowego w owocach. Dodatek witaminy C do roztworu osmotycznego umożliwił modyfikację składu chemicznego jabłek. Podwyższenie temperatury wpływało na obniżenie lepkości roztworu oraz zwiększenie wymiany masy w odwadnianym

materiale roślinnym [15, 19]. Wyższa temperatura może intensyfikować zjawiska związane z osmozą i dyfuzją, ale też wpływać niekorzystnie na zmiany struktury, utratę selektywności i niszczenie błon komórkowych oraz obniżenie zawartości składników odżywczych, np. witaminy C [16]. Przenikanie masy można zintensyfikować poprzez częściową denaturację błon komórkowych stosując temperaturę w zakresie 55-75°C. Wzrost temperatury powyżej 75°C powoduje przechodzenie protopektyn w pektynę, a tym samym mięknięcie ścian komórkowych, w wyniku czego szybkość procesu i wymiana masy może zostać zakłócona [16].

SOKI I KONCENTRATY OWOCOWE JAKO SUBSTANCJE OSMOTYCZNE

Zainteresowanie konsumentów przetworami z owoców oraz korzystnym oddziaływaniem zawartych w nich związków biologicznie aktywnych wpływa na zwiększenie asortymentu tego rodzaju produktów [13]. Potencjał bioaktywny owoców oraz innych surowców roślinnych wykorzystuje się w produkcji żywności funkcjonalnej w wielu krajach Europy i na świecie. W Polsce dostępność i rozpoznawalność tego typu przetworów jest niewielka, pomimo, że w warunkach rodzimego klimatu występuje wiele gatunków roślin uprawnych i dzikorosnących, które mogłyby stanowić składnik żywności wartościowej pod względem odżywczym i zdrowotnym. Przykładowo, owoce borówki czarnej wydają się być idealnym surowcem do wzbogacania innych produktów. Świadczy o tym ich skład chemiczny, w tym zawartość barwników i składników nadających charakterystyczny aromat [26]. Wywary z owoców borówki czernicy stosowane są jako środek przeciwbiegunkowy, przeciwzapalny i przeciwwrzodowy. Owoce borówki czarnej wykorzystuje się w przemyśle spożywczym jako barwniki do soków, win, wyrobu konfitur, dżemów i barwienia deserów [26]. Wśród owoców jagodowych na szczególną uwagę zasługuje aronia czarnoowocowa, która charakteryzuje się wysoką zawartością antocyjanów i innych związków polifenolowych. Substancje te wykazują silne właściwości antyoksydacyjne. Wykazano, że antocyjany zawarte w owocach aronii czarnoowocowej korzystnie wpływają na układ krążenia ze względu na zdolność uszczelniania naczyń krwionośnych. Mięsz dojrzałych owoców aronii jest prawie czarny, a wyciśnięty rubinowy sok jest silnie barwiący [26].

Nowicka i wsp. [22] odwadniali osmotycznie wiśnie przy użyciu koncentratów soków z jabłek, czarnych porzeczek, aronii, wiśni, malin i pigwy. Następnie wiśnie były suszone metodą hybrydową (konwekcyjno-mikrofalowo-próżniową). Zastosowanie koncentratu soku z wiśni i aronii spowodowało wzrost zawartości polifenoli w suszonych wiśniach odpowiednio o 6,4 i 22,4%. Czajkowska i wsp. [9] odwadniali osmotycznie jabłka w koncentracie soku z aronii w zakresie temperatury 30-60°C. Odwadnianie owoców w temperaturze 45°C przez 240 minut pozwoliło na uzyskanie około 2,5-krotnie wyższej zawartości polifenoli w tkance jabłek odwadnianych w porównaniu do surowca. Wykazano również, że podwyższenie temperatury z 30 do 45°C i wydłużenie czasu odwadniania z 120 do 240 min wpłynęło istotnie na zwiększenie zawartości polifenoli. Natomiast przy podwyższeniu temperatury z 45 do 60°C zaobserwowano zmniejszenie zawartości analizowanych związków w badanych jabłkach.

SUSZENIE KONWEKCYJNE

Suszenie owoców jest dobrze znaną metodą konserwacji umożliwiającą obniżenie kosztów magazynowania i transportu. Suszone owoce są powszechnie stosowane jako składniki wielu produktów spożywczych, jak wyroby cukiernicze, lody, desery i jogurty [20]. W ostatnich latach wiele uwagi poświęca się doborowi metody suszenia i optymalizacji procesu w kierunku uzyskania suszy wysokiej jakości.

Suszenie konwekcyjne należy do najpopularniejszych i najczęściej wykorzystywanych metod suszenia żywności. Polega na dostarczaniu do materiału ciepła za pomocą czynnika grzejącego, którym jest na ogół powietrze [36]. Ciepło dostarczane jest do powierzchni materiału na drodze konwekcji. W początkowym okresie procesu powierzchnia suszonego materiału ma temperaturę wyższą niż partie wewnętrzne. Dzięki dostarczaniu ciepła wilgoć przechodzi w stan gazowy, początkowo na powierzchni materiału, następnie dyfundując z wnętrza ku powierzchni, skąd jest usuwana za pomocą czynnika grzejącego. Wzrost zawartości suchej substancji jest skutkiem odparowania wody. Zagęszczenie składników może wpływać na intensyfikację przebiegu reakcji enzymatycznych i chemicznych w materiale [36]. Wśród zalet tej metody wymienia się możliwość uzyskania stosunkowo taniego produktu, jednakże o obniżonej jakości [34]. Proces ten jest też czas- i energochłonny. Główną niekorzystną zmianą fizyczną występującą po procesie suszenia jest skurcz, który wpływa na zmianę tekstury, zależną od właściwości materiału, jego składu chemicznego i porowatości. Zastosowana wysoka temperatura oraz czas suszenia wpływają negatywnie na właściwości fizyko-chemiczne (utrata witamin, odkształcenie kształtu oraz utwardzenie materiału, zwłaszcza warstw powierzchniowych) i organoleptyczne, m.in. barwę (degradacja pigmentów), smak i zapach. Z tego powodu temperatura i czas suszenia są najbardziej istotne i najczęściej optymalizowane [39]. Suszenie konwekcyjne truskawek w temperaturze 60°C przez 220 minut do końcowej zawartości wody na poziomie 0,05 kg / kg suchego produktu wpłynęło na obniżenie całkowitej zawartości związków polifenolowych o około 28% [5]. Analizując wpływ temperatury suszenia konwekcyjnego aronii w temperaturze 50 i 70°C stwierdzono, że owoce suszone w wyższej temperaturze charakteryzowały się większą zawartością antocyjanów i zdolnością przeciwutleniającą niż owoce suszone w temperaturze 50°C. Zastosowanie niższej temperatury spowodowało ponad dwukrotne wydłużenie czasu suszenia, a tym samym przełożyło się na spadek właściwości antyoksydacyjnych suszu [32]. Suszone konwekcyjnie owoce w dużym stopniu pozbawione są m.in. aktywnych biologicznie polifenoli. Prawdopodobnie oprócz działania temperatury, przyczyną obniżenia ich zawartości jest działanie oksydazy polifenolowej, która uczestniczy w utlenianiu substancji zawierających związki polifenolowe. Optymalne działanie tego enzymu stwierdza się w temperaturze 40°C. W celu zmniejszenia negatywnego efektu suszenia konwekcyjnego rekomendowane jest prowadzenie procesu w warunkach okresowo zmiennych, tj. przy zmiennej szybkości przepływu powietrza o zmiennej temperaturze. Zastosowane zmienne warunki mogą poprawić jakość końcową produktu oraz zmniejszyć energochłonność procesu [35]. Wielu badaczy opowiada się za użyciem suszenia konwekcyjnego po

procesie odwadniania osmotycznego [3]. Prosapio i Norton [27] badając wpływ odwadniania osmotycznego na przebieg suszenia konwekcyjnego wykazali, że zastosowanie wstępnej obróbki osmotycznej pozwala na znaczne skrócenie czasu suszenia, zachowanie właściwości mechanicznych i rehydracyjnych truskawek. Zastosowanie odwadniania osmotycznego gruszek przed procesem suszenia konwekcyjnego (60°C) pozwoliło na redukcję czasu suszenia o 42% oraz wpłynęło na większą ich akceptowalność [8].

Jakość produktów suszonych ma kluczowe znaczenie, dlatego poszukuje się nowych technik suszenia. Pożądanym relatywnie niskim kosztem wytwarzania suszy jest jednym z czynników wpływających na stosowanie suszenia konwekcyjnego w połączeniu z innymi metodami. Jednocześnie należy dostosować parametry suszenia, które zapewnią odpowiednią szybkość procesu i wysoką jakość produktu [3].

LIOFILIZACJA

Liofilizacja polega na usunięciu wody z zamrożonego produktu na drodze sublimacji. Zamrażanie tkanki roślinnej powinno przebiegać szybko, warunkując wytworzenie małych kryształów lodu, które w mniejszym stopniu niż duże niszczą strukturę tkanki. Proces sublimacji zachodzi pod ciśnieniem poniżej 200 Pa [14]. Niska temperatura suszenia (najczęściej 20 - 30°C), obniżone ciśnienie i brak fazy ciekłej powoduje ograniczenie negatywnego wpływu powietrza i zahamowanie większości niepożądanych reakcji, zwłaszcza procesów utleniania. Te czynniki w dużym stopniu przekładają się na wysoką jakość suszu. Owoce suszone liofilizacyjne zachowują barwę, smak i wartości odżywcze [11]. Możliwe jest także suszenie tkanki roślinnej zawierającej składniki termolabilne. Suszenie sublimacyjne wyłoków aronii umożliwiło uzyskanie o 22% mniejszych strat witaminy C niż podczas suszenia konwekcyjnego [31]. Maliny suszone liofilizacyjne charakteryzowały się większą chrupkością, brakiem skurczu w porównaniu do owoców suszonych konwekcyjnie, ale także wyższą higroskopijnością [31]. Podczas liofilizacji woda w stanie stałym chroni strukturę i kształt produktu. W porównaniu z suszeniem konwekcyjnym, skurcz materiału suszonego sublimacyjnie jest nieznaczny a wskaźnik rehydracji 4-6 razy wyższy. Liofilizaty odznaczają się strukturą porowatą i dobrymi właściwościami sorpcyjnymi [31]. Suszenie liofilizacyjne aceroli i guawy spowodowało otrzymanie bardzo higroskopijnego produktu. Zmiana struktury krystalicznej rozpuszczalnych węglowodanów (cukrów) obecnych w tkance roślinnej do bezpostaciowej powoduje mięknienie tych suszy przy jednoczesnym zachowaniu pozostałych właściwości produktu. Na podstawie analizy składu suszy (witamina C, wapń i fosfor) wykazano, że liofilizacja suszonych owoców tropikalnych dostarcza produktów o wysokiej wartości odżywczej [11]. Zastosowanie odwadniania osmotycznego przed procesem suszenia wpłynęło na ograniczenie higroskopijności produktu [32]. Ciurzyńska i Lenart [7] wykazali, że barwa truskawek poddanych suszeniu sublimacyjnemu jest bardziej zbliżona do surowca niż barwa suszy otrzymanych innymi metodami. Liofilizacja umożliwia zachowanie związków zapachowych oraz barwy produktów również podczas przechowywania w odpowiednich warunkach. Wzrost temperatury wpływa na obniżenie ich stabilności. Zmieszenie żurawiny przed procesem

lioofilizacji zmniejszało o połowę czas suszenia a otrzymany produkt charakteryzował się wyższym udziałem barwy czerwonej oraz wyższą zdolnością przeciwutleniającą w porównaniu do owoców suszonych w całości. Dodatek zarówno kwasu L-askorbinowego, jak i kwasu cytrynowego do zmielonej żurawiny wpłynął na zmniejszenie lepkości i zwiększenie intensywności barwy (koloru czerwonego) suszonej żurawiny [29]. Pomimo niekwestionowanych zalet suszenia sublimacyjnego, jest ono stosunkowo rzadko wykorzystywane w przemyśle spożywczym. Czynnikiem decydującym jest koszt wytwarzania suszy tą metodą przez 1-2 doby, który jest 4-8 razy wyższy niż suszenia konwekcyjnego w wysokiej temperaturze [23, 31]. Przy rosnących kosztach energii, wysoka cena suszy liofilizowanych jest przyczyną ich małej konkurencyjności na rynku. Wymusza to konieczność poszukiwania takich metod suszenia, które pozwolą na wytwarzanie produktów podobnej jakości, o wysokiej wartości odżywczej, ale przy odpowiednio niskich kosztach produkcji.

SUSZENIE HYBRYDOWE

Interesującym rozwiązaniem w technologii wytwarzania przekąsek owocowych, wykazującym duży potencjał związany ze skróceniem czasu wytwarzania produktu, jest suszenie hybrydowe (kombinowane). Technologia ta polega na stosowaniu kilku metod suszenia. W literaturze przedstawiane są techniki kilkietapowe polegające na usunięciu wody z materiału do pewnej wilgotności przy użyciu jednej metody, np. konwekcyjnej, a następnie dosuszeniu przy użyciu innych technik, np. mikrofalowo-próżniowo. Działania tego typu umożliwiają kształtowanie właściwości fizykochemicznych suszy (suszonych przekąsek), ale także wpływają pozytywnie na rachunek ekonomiczny związany z ich wytwarzaniem. Zastosowanie kilku metod suszenia może prowadzić do wyeliminowania wad niektórych metod suszenia, a także umożliwić kreowanie żywności o określonych cechach. Przykładowo, w celu dosuszenia materiału, zastosowanie energii mikrofalowej zamiast suszenia konwekcyjnego znacząco skraca czas wytwarzania suszy i wpływa na wysoką jakość produktu [21].

Suszenie mikrofalowo-próżniowe jest metodą, która łączy w sobie zalety suszenia mikrofalowego i próżniowego. Fale elektromagnetyczne o częstotliwości 300 MHz – 30 GHz wykorzystywane w suszeniu mikrofalowym inicjują intensywny ruch dipoli wody i powstanie energii cieplnej w suszonym materiale, a w konsekwencji wysokie ciśnienie i szybki przepływ wilgoci. Dodatkowo zastosowanie obniżonego ciśnienia umożliwia prowadzenie procesu w niższej temperaturze, ale z podobną intensywnością jak w wysokiej temperaturze przy ciśnieniu atmosferycznym. Woda wrze w niższej temperaturze niż przy ciśnieniu atmosferycznym, a tym samym szybciej następuje jej przemiana fazowa w parę wodną. Jednocześnie następuje zwiększenie intensywności usuwania wody z całej objętości materiału biologicznego. Proces ogranicza również kontakt surowca z powietrzem i skraca czas suszenia mikrofalowo-próżniowego [12]. Zaletą tej techniki jest również możliwość zmiany parametrów w trakcie suszenia, co pozwala kontrolować proces a nawet zwiększyć jego wydajność [6].

Zastosowanie suszenia kombinowanego łączącego zalety suszenia konwekcyjnego, mikrofalowego i pod obniżonym

ciśnieniem gwarantuje otrzymanie stabilnego mikrobiologicznie suszu wysokiej jakości [22]. Badania wpływu różnych sposobów suszenia (konwekcyjnego, liofilizacyjnego, próżniowego, mikrofalowego i kombinowanego) na zawartość związków polifenolowych przeprowadzone przez Samotichę i wsp. [32] wykazały, że proces liofilizacji był najlepszym rozwiązaniem zapobiegającym degradacji związków biologicznie czynnych w aronii. Badacze zaobserwowali, że dobrą metodą suszenia zapobiegającą degradacji związków polifenolowych jest również suszenie konwekcyjno-mikrofalowo-próżniowe, które ekonomicznie jest metodą bardziej opłacalną w porównaniu z liofilizacją. Skuteczność tej metody suszenia potwierdzają również inni badacze. Przykładowo połączenie wstępnego odwadniania osmotycznego wiśni w soku pigwowca i pigwy z suszeniem kombinowanym (konwekcyjno-mikrofalowo-próżniowym) przyczyniło się do wzbogacenia produktu finalnego we flawanole, tj. (-)epikatechinę, procyanidy B1 i B2 oraz procyanidy C1 [22]. Otrzymane susze charakteryzowały się wysoką jakością, zbliżoną do produktów otrzymanych na drodze liofilizacji. Zachowały one naturalną barwę oraz porowatą strukturę [32].

PODSUMOWANIE

Do wytwarzania przekąsek w postaci suszy owocowych wysokiej jakości i wartości odżywczej korzystne jest stosowanie wstępnego odwadniania osmotycznego w roztworach zawierających bioskładniki poprzez dodatek soków, koncentratów lub ekstraktów owocowych. Kształtowanie końcowych cech produktu pod względem składu chemicznego i właściwości sensorycznych zależy od metod suszenia i zabiegów wstępnych. Ośrodki naukowe i producenci żywności wciąż poszukują coraz doskonalszych metod utrwalania żywności. Głównym celem tych zabiegów jest usatysfakcjonowanie zarówno samych producentów, gwarantując wytworzenie produktu w sposób ekonomiczny, jak i konsumentów oferując im żywność bezpieczną o pożądanym cechach sensorycznych i wartości odżywczej. Suszenie hybrydowe będące połączeniem różnych technik suszenia, w tym wstępne odwadnianie osmotyczne i wzbogacanie, wykazuje duży potencjał związany z redukcją czasu suszenia, eliminowaniem wad niektórych metod suszenia, a także kreowaniem żywności o określonych właściwościach.

LITERATURA

- [1] AHMED I., I. M. QAZI, S. JAMAL. 2016. „Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables”. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 34: 29-43.
- [2] AMAMI E., A. FERSI, L. KHEZAMI, E. VOROBIEV, N. KECHAOU. 2007. „Centrifugal osmotic dehydration and rehydration of carrot tissue pre-treated by pulsed electric field”. *LWT Food Science and Technology* 40: 1156-1166.
- [3] BCHIR B., S. BESBES, R. KAROUI, H. ATTIA, M. PAQUOT, C. BLECKER. 2012. „Effect of air-drying conditions on physico-chemical properties of osmotically pre-treated pomegranate seeds”. *Food and Bioprocess Technology* 5: 1840-1852.
- [4] BETORET N., L. PUENTE, M. J. DIAZ, M. J. PAGAÁN, M. J. GARCIA, M. L. GRAS, J. MARTÍNEZ-MONZÓ, P. FITO. 2003. „Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation”. *Journal of Food Engineering* 56(2): 273-277.
- [5] BÖHM V., S. KÜHNERT, H. ROHM, G. SCHOLZE. 2006. „Improving the nutritional quality of microwave-vacuum dried strawberries: a preliminary study”. *Food Science and Technology International* 12(1): 67-75.
- [6] BÓRQUEZ R. M., E. R. CANALES, J. P. REDON. 2010. „Osmotic dehydration of raspberries with vacuum pretreatment followed by microwave-vacuum drying”. *Journal of Food Engineering* 99: 121-127.
- [7] CIURZYŃSKA A., A. LENART. 2007. „Wpływ rodzaju substancji osmotycznej na adsorpcję pary wodnej przez liofilizowane truskawki”. *Inżynieria Rolnicza* 5(93): 53-62.
- [8] COSTA RIBEIRO A. S., E. AGUIAR-OLIVEIRA, R. RESENDE MALDONADO. 2016. „Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality”. *LWT – Food Science and Technology* 72: 407-415.
- [9] CZAJKOWSKA K., H. KOWALSKA, J. CICHOWSKA, M. WOJNOWSKI. 2016. „Odwadnianie osmotyczne jabłek w koncentracji soku z aronii”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 2: 5-11.
- [10] CZAJKOWSKA K., H. KOWALSKA, M. WOJNOWSKI. 2014. „Zastosowanie inuliny do odwadniania osmotycznego jabłek”. *Nauki Inżynierskie i Technologie* 3(14): 9-21.
- [11] FERNANDES F. A. N., S. RODRIGUES, C.L. LAW, A. S. MUJUMDAR. 2011. „Drying of Exotic Tropical Fruits: A Comprehensive Review”. *Food and Bioprocess Technology* 4: 163-185.
- [12] FIGIEL A., M. SZARYCZ, B. ŚWIERK. 2006. „Suszenie jabłek metodą mikrofalową w warunkach obniżonego ciśnienia”. *Inżynieria Rolnicza* 10: 293-298.
- [13] GWÓDŹ E., P. GĘBCZYŃSKI. 2015. „Prozdrowotne właściwości owoców, warzyw i ich przetworów”. *Post Fitoter* 16(4): 268-271.
- [14] KONDRATOWICZ J., E. BURCZYK. 2010. „Technologiczne aspekty procesu liofilizacji”. *Chłodnictwo: organ Naczelnej Organizacji Technicznej* 45(4): 54-59.
- [15] KOWALSKA H. 2006. „Owoce i warzywa jako żywność minimalnie przetworzona”. *Przemysł Spożywczy* 6: 24-27.
- [16] KOWALSKA H. 2013. *Wybrane aspekty odwadniania osmotycznego jabłek w roztworze sacharozy z dodatkiem kwasu askorbinowego i soli wapnia*. Warszawa: Wydawnictwo SGGW.
- [17] KOWALSKA H., A. MARZEC, J. KOWALSKA, A. CIURZYŃSKA, K. CZAJKOWSKA, J. CICHOWSKA, K. RYBAK, A. LENART. 2017. „Osmotic dehydration of Honeoye strawberries in solution enriched with natural nutrients”. *LWT – Food Science and Technology*: DOI 10.1016/j.lwt.2017.03.044.

- [18] **KOWALSKA H., K. GIERADA. 2005.** „Nasycaenie jabłek w celu otrzymania żywności wzbogaconej witaminą C”. *Inżynieria Rolnicza* 11(71): 267-274.
- [19] **LENART A. 1990.** „Osmotyczne odwadnianie jako obróbka wstępna przed suszeniem konwekcyjnym owoców i warzyw”. *Przemysł Spożywczy* 44(12): 307-309.
- [20] **MANDALA I. G., E. F. ANAGNOSTARAS, C. K. OIKONOMOU. 2005.** „Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics”. *Journal of Food Engineering* 69: 307-316.
- [21] **MEN'SHUTINA N. V., M. G. GORDIENKO, A. A. VOINOVSKII, T. KUDRA. 2005.** „Dynamic criteria for evaluating the energy consumption efficiency of drying equipment”. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering* 39(2): 158-162.
- [22] **NOWICKA P., A. WOJDYŁO, K. LECH, A. FIGIEL. 2015.** „Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried sour cherry fruits pre-dehydrated in fruit concentrates”. *Food and Bioprocess Technology* 8(10): 2076-2095.
- [23] **PASŁAWSKA M., B. STĘPIEŃ, K. JAŁOSZYŃSKI. 2010.** „Zmiany parametrów barwy owoców jagodowych wywołane suszeniem, przechowywaniem i rehydracją”. *Inżynieria Rolnicza* 2(120): 95-102.
- [24] **PHISUT N. 2012.** „Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits”. *International Food Research Journal* 19(1): 7-18.
- [25] **PIASECKA E., M. UCZCIWEK, R. KLEWICKI. 2009.** „Odwadnianie osmotyczne owoców w roztworach zawierających fruktooligosacharydy”. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 2(63): 138-153.
- [26] **PIĄTKOWSKA E., A. KOPEĆ, T. LESZCZYŃSKA. 2011.** „Antocyjany – charakterystyka, występowanie i oddziaływanie na organizm człowieka”. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 4 (77): 24-35.
- [27] **PROSAPIO V. I. NORTON. 2017.** „Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven drying and freeze drying performance”. *LWT – Food Science and Technology* 80: 401-408.
- [28] **ROZPORZĄDZENIE RADY MINISTRÓW z dnia 4 sierpnia 2016 r. w sprawie Narodowego Programu Zdrowia na lata 2016–2020.** *Dz.U.* 2016 poz. 1492.
- [29] **RUDY S., D. DZIKI, A. KRZYKOWSKI, U. GAWLIK-DZIKI, R. POLAK, R. RÓŻYŁO, R. KULIG. 2015.** „Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physico-chemical properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon* Ait.)”. *LWT – Food Science and Technology* 63: 497-503.
- [30] **RUSZKOWSKA M., B. TKACZ. 2015.** „Ocena suszu owocowego na przykładzie chipsów jabłkowych - charakterystyka właściwości higroskopijnych”. *Inż. Ap. Chem.* 54(5): 279-280.
- [31] **RZĄCA M., D. WITROWA-RAJCHERT. 2007.** „Suszenie żywności w niskiej temperaturze”. *Przemysł Spożywczy* 4: 30-35.
- [32] **SAMOTICHA J., A. WOJDYŁO, K. LECH. 2016.** „The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries”. *LWT – Food Science and Technology* 66: 484-489.
- [33] **SETTE P., D. SALVATORI, C. SCHEBOR. 2016.** „Physical and mechanical properties of raspberries subjected to osmotic dehydration and further dehydration by air- and freeze-drying”. *Food and Bioprocess Processing* 100: 156-171.
- [34] **STĘPIEŃ B. 2006.** „Zmiany wytrzymałości na ściskanie pietruszki suszonej różnymi metodami”. *Inżynieria Rolnicza* 10(4): 191-198.
- [35] **SZADZIŃSKA J. 2014.** „Efektywność suszenia konwekcyjnego w warunkach okresowo zmiennych”. Praca doktorska. Dostęp w dniu 07.04.2017. <http://repozytorium.put.poznan.pl/dlibra/docmetadata?id=374134&from=latest>
- [36] **SZARYCZ M., K. JAŁOSZYŃSKI, A. PEŁKA, M. OSTROWSKA, B. ŚWIERK. 2006.** „Wpływ parametrów mikrofalowo-próżniowego suszenia truskawek na przebieg procesu i skurcz suszarniczy”. *Inżynieria Rolnicza* 4 (79): 229-237.
- [37] **TORREGGIANI D., G. BERTOLO. 2001.** „Osmotic pre-treatments in fruit processing: Chemical, physical and structural effects”. *Journal of Food Engineering* 49(2-3): 247-253.
- [38] **TORTOE C. 2010.** „A review of osmodehydration for food industry”. *African Journal of Food Science* 4(6): 303-324.
- [39] **ZIELIŃSKA M., P. SADOWSKI, W. BŁASZCZAK. 2016.** „Combined hot air convective drying and microwave vacuum drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.): Drying kinetics and quality characteristics”. *Drying Technology* 34(6): 665-684.