

Dr hab. inż. Hanna KOWALSKA  
Mgr inż. Kinga CZAJKOWSKA  
Mgr inż. Joanna CICHOWSKA  
Mgr inż. Katarzyna SKARŻYŃSKA

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

## ZASTOSOWANIE ODWADNIANIA OSMOTYCZNEGO W PRODUKCJI ŻYWNOSCI MAŁO PRZETWORZONEJ®

### The application of osmotic dehydration in minimally processed food technology®

**Słowa kluczowe:** minimalne przetwarzanie, odwadnianie osmotyczne, metody pakowania.

*Warzywa i owoce minimalnie przetworzone łączą w sobie atrybuty żywności świeżej i wygodnej. Jedną z metod utrwalania tego typu produktów jest zastosowanie odwadniania osmotycznego, które pozwala uzyskać żywność wysokiej jakości, zachowującą naturalne właściwości organoleptyczne i odżywcze surowców. Podczas tego procesu następuje częściowe usunięcie wody z tkanki roślinnej z jednoczesnym wnikięciem substancji osmotycznej z roztworu otaczającego do wnętrza materiału. Odwadnianie osmotyczne powoduje zmiany fizyczne i chemiczne zachodzące w różnym stopniu. Stosowanie odpowiednio dobranych parametrów procesu (rodzaj i stężenia roztworu osmotycznego, temperatura, czas, ciśnienie itp.) oraz właściwych metod pakowania i przechowywania pozwala otrzymać produkty zbliżone do świeżych surowców, o przedłużonym okresie trwałości. Produkt końcowy charakteryzuje się świeżym zapachem i smakiem, nieznaczną zmianą barwy o wyglądzie atrakcyjnym dla konsumenta. Możliwe jest również zwiększenie wartości odżywczej produktów utrwalanych tą metodą poprzez dodatek do roztworu osmotycznego kompleksów witaminowo-mineralnych.*

**Key words:** minimal processing, osmotic dehydration, packaging and storage method.

*Minimally processed fruits and vegetables combines attributes of fresh and convenience food. One of the method of preserving products like this is osmotic dehydration, which allow to obtain high quality food, maintaining natural organoleptic and nutritive properties. During osmotic dehydration process takes place partial water removal from the product (without a phase change) with solid gain at the same time. Osmotic treatment provokes physical and chemical changes, which value depends on process conditions. Correct choice of process parameters (composition and concentration of osmotic solution, temperature, immersion time, pressure etc.) and suitable packaging and storage methods allow to receive fresh-like products with extending shelf-life. Final product is characterized by fresh aroma and flavour, slightly color changes and attractive appearance for customer. It is possible to enhance natural nutritional value of products, preserving by osmotic dehydration by enriching with vitamin-mineral complex, which are added to osmotic solution.*

### WSTĘP

W ostatnich latach obserwuje się zainteresowanie żywnością o małym stopniu przetworzenia, z uwagi na zachowanie naturalnych cech surowców i wysoką jakość produktów, uzyskaną poprzez stosowanie łagodnych metod utrwalania. Produkty te nie tylko posiadają wysoką wartość odżywczą, ale również ze względu na odpowiednie procesy, jakim były poddane, są bezpieczne pod względem mikrobiologicznym.

Wśród metod utrwalania coraz częstszym przedmiotem badań jest zjawisko osmozy pozwalające na usunięcie znacznej ilości wody bez przemiany fazowej, co wpływa zdecydowanie na trwałość oraz jakość produktów spożywczych. Odwadnianie osmotyczne pozwala zachować naturalne właściwości odżywcze i sensoryczne, ograniczenie niepożądanych reakcji chemicznych i zmian fizycznych surowców kosztem nieznacznego uszkodzenia ich struktury. Produkt końcowy charaktery-

zuje się świeżym zapachem, polepszeniem walorów smakowych i nieznaczną zmianą barwy, co eliminuje konieczność stosowania chemicznych konserwantów. Efektowi odwodnienia z wykorzystaniem zjawiska osmozy może towarzyszyć również wzbogacenie składu warzyw i owoców mało przetworzonych w substancje odżywcze, poprzez dodatek witamin lub składników mineralnych do roztworu osmotycznego.

**Celem artykułu jest omówienie możliwości zastosowania odwadniania osmotycznego w produkcji żywności mało przetworzonej pochodzenia roślinnego z uwzględnieniem zjawisk zachodzących podczas tego procesu. Zakres pracy przedstawiony w artykule obejmował ogólną charakterystykę żywności mało przetworzonej, analizę zmian w tkance roślinnej oraz wpływ różnych czynników na przebieg procesu odwadniania osmotycznego, jak również metody pakowania i przechowywania warzyw i owoców mało przetworzonych.**

## CHARAKTERYSTYKA ŻYWNOSCI MAŁO PRZETWORZONEJ

Popularność żywności mało przetworzonej stale rośnie. Spowodowane jest to głównie zachowaniem naturalnych cech surowców oraz brakiem lub niską zawartością chemicznych konserwantów, praktycznością w przygotowaniu tego rodzaju produktów jak świeże sałatki oraz łatwego dostępu do ich szerokiego asortymentu produktów przez cały rok [31].

Termin „minimalne przetwarzanie” oznacza technologie mające na celu dostarczenie konsumentowi produktów o cechach świeżych owoców lub warzyw o przedłużonym okresie trwałości. Jednocześnie żywność tego typu charakteryzuje się bezpieczeństwem pod względem mikrobiologicznym oraz zachowaniem naturalnego wyglądu i jakości sensorycznej [66]. Są to produkty o dużych walorach zdrowotnych, bogate w naturalnie występujące składniki odżywcze (głównie składniki mineralne i witaminy) lub częściowo wzbogacone wybranymi dodatkami witaminowo-mineralnymi [34].

Przykładami warzyw i owoców mało przetworzonych są obrane i pokrojone owoce i warzywa do bezpośredniego spożycia, sporządzania sałatek oraz zestawy do przygotowania różnych potraw, np. w kuchenkach mikrofalowych [9]. Niekiedy zaliczane do nich są też przetwory z owoców i warzyw, jak soki niepoddane obróbce cieplnej lub sosy, a nawet zupy ze świeżych owoców i warzyw [21]. Żywność mało przetworzona obejmuje produkty chłodzone i mrożone oraz zagęszczane łagodnymi metodami, w tym w wyniku odwadniania osmotycznego (Senesi, 2003). Znane są również przykłady produktów mięsnych i rybnych utrwalonych za pomocą „łagodnych metod” [18, 55]. W Polsce produkty te są coraz popularniejsze ze względu na wygodę i czas przyrządzenia, szczególnie asortyment sałatek gotowych do spożycia z warzyw minimalnie przetworzonych jest bardzo bogaty [73]. Warzywa i owoce mało przetworzone łączą w sobie atrybuty żywności świeżej i wygodnej. Jednym z najważniejszych czynników decydujących o ich jakości jest aspekt bezpieczeństwa mikrobiologicznego, wartość odżywcza, a także cechy organoleptyczne [1, 19, 20]. Technologia ich produkcji obejmuje zabiegi podstawowe, takie jak: czyszczenie, obieranie, krojenie, rozdrabnianie i pakowanie [19], a także wstępne blanszowanie [9].

Produkty ze świeżo krojonych owoców i warzyw stanowią żywe tkanki. Zjawisko oddychania w tkance roślinnej zachodzi zarówno po zbiorze, jak i po procesie przetworzenia. W niektórych przypadkach procesy fizjologiczne w produktach mało przetworzonych zachodzą szybciej i produkty łatwiej ulegają zepsuciu niż świeże nieprzetworzone surowce. Uszkodzenia mechaniczne oraz zwiększenie powierzchni podczas mycia, obierania i rozdrabniania, a także zmiana temperatury i wilgotności przyspieszają zmiany fizjologiczne i biochemiczne tkanki broniącej się przed działaniem stresu [21]. Wywołuje to zmiany enzymatyczne, głównie pod wpływem działania oksydaz, zwiększenie tempa respiracji oraz ułatwia rozwój mikroorganizmów. Jakość produktów mało przetworzonych szybko ulega pogorszeniu, w szczególności dotyczy to barwy i tekstury [1]. Ze względu na ograniczoną odporność na niekorzystne warunki otoczenia owoce i warzywa minimalnie przetworzone odznaczają

się krótkim okresem przechowywania w temperaturze chłodniczej, który wynosi najczęściej 7-14 dni [16], a w przypadku wielu produktów tylko 4-6 dni [1, 60, 72].

W celu ograniczenia niekorzystnych zmian i przedłużenia trwałości produktów o małym stopniu przetworzenia stosuje się zabiegi dodatkowe, jak odpowiednio dobrane metody czyszczenia nie uszkadzające struktury surowca, moczenie w wodnych roztworach wody utlenionej, traktowanie ozonem lub pakowanie w atmosferze modyfikowanej [2, 20, 21, 23, 62]. Zhi-shuang i wsp. [74] do ograniczenia rozwoju *Escherichia coli* lub *Saccharomyces cerevisiae* w świeżych rozdrobionych jabłkach i morelach zaproponowali wysokie ciśnienie (1,8 MPa wartości bezwzględnej) w gazach inertnych argonu i ksenonu.

Interesujące rezultaty dotyczące znaczącego zmniejszenia tempa rozwoju mikroorganizmów zaobserwowano przy zastosowaniu krótkiej obróbki osmotycznej owoców kiwi, nawet w przypadku, gdy osiągnięte wartości aktywności wody (w granicach 0,99-0,98) nie miały wpływu na inhibitory rozwoju drobnoustrojów [28]. Stąd też zainteresowanie możliwościami przedłużenia okresu przydatności do spożycia produktów z owoców i warzyw o wysokiej zawartości wilgoci (HMFP - high moisture fruit products) podczas minimalnego przetwarzania metodą odwadniania osmotycznego. Proces odwadniania osmotycznego, a w szczególności stan higieniczny stosowanego roztworu i surowców, może mieć wpływ na zawartość zanieczyszczeń w produktach odwadnianych tą metodą, a tym samym na ich trwałość [28].

Przygotowywanie i przetwarzanie surowców powoduje fizyczne zniszczenie lub uszkodzenie tkanki roślinnej, w wyniku którego następuje zwiększenie intensywności oddychania oraz produkcji etylenu. Towarzyszy temu przyspieszenie przebiegu reakcji biochemicznych odpowiedzialnych m.in. za zmiany barwy (np. spowodowane reakcjami brązowienia), smaku, tekstury i wartości odżywczej (np. ubytek witamin i składników mineralnych). Kontrola zmian zachodzących na skutek uszkodzenia struktury surowca jest kluczem do osiągnięcia produktu dobrej jakości. Wpływ uszkodzenia tkanki może być zmniejszony poprzez chłodzenie produktu przed operacjami technologicznymi. Ścisła kontrola temperatury po procesie ma także decydujące znaczenie w ograniczeniu zmian wywołanych aktywnością metaboliczną [9, 19].

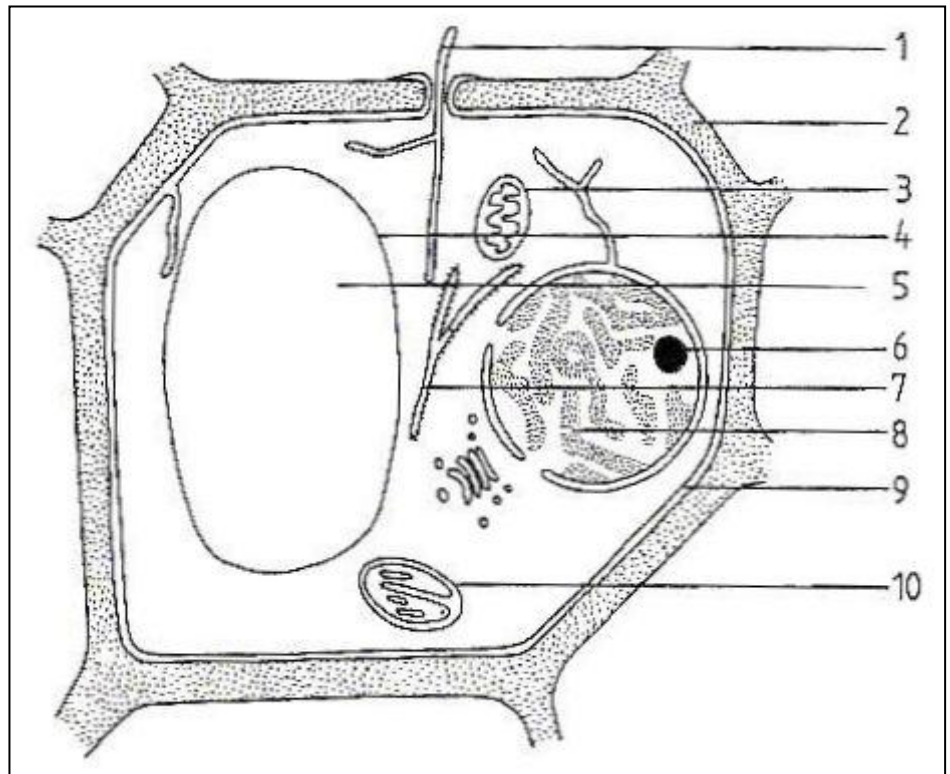
Przebarwienia powierzchni krojonych surowców pochodzenia roślinnego, żółknięcie zielonych warzyw oraz pojawienie barwy warzyw i owoców kolorowych, szybkie ciemnienie bananów, ziemniaków, brzoskwiń lub jabłek spowodowane enzymatycznym brązowieniem stwarza poważne problemy w technologii warzyw i owoców minimalnie przetworzonych i może powodować zmiany w wyglądzie i właściwościach sensorycznych [8, 27, 63]. Dobrym rozwiązaniem jest stosowanie roztworów osmotycznych zawierających inhibitory brązowienia enzymatycznego. Można w ten sposób uzyskać produkty o barwie świeżej tkanki [8, 63].

Badania nad zastosowaniem różnych technologii łagodnego przetwarzania owoców i warzyw, mające na celu zachowanie jak najlepszych naturalnych właściwości produktów mało przetworzonych, są jednym z głównych kierunków badań naukowców w ostatnich latach. Podstawy prawidłowo prowadzonej produkcji żywności minimalnie przetworzonej przedstawił Ahvenainen [1], są to:

- dobra jakość surowców stosowanych do produkcji (właściwy dobór odmian, poprawnie prowadzona uprawa, warunki zbioru i przechowywania),
- wysoki poziom higieny i dobra praktyka produkcyjna, stosowanie zasad HACCP [39],
- niska temperatura procesu produkcji,
- ostrożne czyszczenie i/lub mycie przed i po obieraniu,
- dobra jakość wody stosowanej do mycia (pod względem sensorycznym, mikrobiologicznym, wykazująca odpowiednie pH),
- łagodne metody osuszania po procesie mycia, obierania, krojenia, szatkowania,
- stosowanie właściwych materiałów opakowaniowych i metod pakowania,
- właściwa temperatura i wilgotność podczas przechowywania, dystrybucji i sprzedaży.

Nie wszystkie procesy utrwalania są odpowiednie do osiągnięcia tych celów. „Łagodne technologie” i „minimalne przetwarzanie” dają zadowalające rezultaty, jeśli chodzi o zachowanie poziomu wysokiej jakości, zarówno sensorycznej, jak i mikrobiologicznej tego typu produktów spożywczych. Termin „łagodna technologia” oznacza rozwój technik utrwalania, które są mniej drastyczne niż tradycyjne i w mniejszym stopniu powodują zmiany naturalnych właściwości produktów spożywczych [66].

Coraz częściej do przedłużania trwałości żywności stosowane jest łączenie różnych metod utrwalania w celu umocnienia ich pozytywnego działania na jakość, bezpieczeństwo, okres przechowywania, a nawet funkcjonalne właściwości produktów spożywczych (technologia płotków – **hurdle technology**). Poszczególne czynniki (tzw. płotki) mogą wykazywać addytywny lub synergistyczny efekt, a różnice w jakości i intensywności ich działania zależą od konkretnego produktu. Stosowanie hurdle technology zapewnia utrzymanie ogólnej jakości żywności przy użyciu inteligentnych kombinacji różnych czynników (temperatury, aktywności wody, pH, potencjału redoks, dodatku konserwantów, odwadniania osmotycznego, pakowania, wykorzystania bakterii kwasu mlekowego i innych) [66].



**Rys. 1.** Schemat struktury wewnętrznej komórki roślinnej: 1 – retikulum endoplazmatyczne (gładkie), 2 – ściana komórkowa, 3 – mitochondrium, 4 – tonoplast, 5 – wodniczka, 6 – jądro z jąderkiem, 7 – retikulum endoplazmatyczne (szorstkie), 8 – chromatyna, 9 – plazmalemma, 10 – plastyd (Praca zbiorowa, 1991).

**Fig. 1.** Scheme of the internal structure of plant cells: 1 – endoplasmic reticulum (smooth), 2 – cell wall, 3 – mitochondrion, 4 – tonoplast, 5 – aquatic warbler, 6 – nucleus with a core, 7 – the endoplasmic reticulum (rough), 8 – chromatin, 9 – plazmalemma, 10 – plastyd.

**Źródło:** Opracowanie na podstawie [61]

**Source:** Study based on [61]

## SUROWCE DO PRODUKCJI ŻYWNOSCI MAŁO PRZETWORZONEJ

Udowodniono, że właściwości świeżej tkanki roślinnej stosowanej w technologii żywności mało przetworzonej metodą odwadniania osmotycznego mają znaczący wpływ na jakość produktu, jego trwałość i tempo procesów zachodzących podczas przetwarzania, jak i przechowywania [8, 33, 51, 52].

W przypadku produktów spożywczych, takich jak owoce i warzywa, będących porowatymi ciałami stałymi, mechanizm wymiany masy jest trudny do wyjaśnienia ze względu na złożoną morfologię tkanki roślinnej. Na temat procesu odwadniania produktów owocowych i warzywnych prowadzono wiele badań [12, 30, 36, 54, 63]. Znajomość budowy i właściwości tkanki surowca jest podstawą do wyjaśnienia mechanizmu odwadniania osmotycznego oraz zmian zachodzących w materiale podczas tego procesu.

Komórka jest podstawowym elementem tkanki roślinnej. Każda żywa komórka roślinna składa się z protoplastu, jądra komórkowego, cytoplazmy, w której znajdują się organella komórkowe (mitochondria, retikulum, peroksysomy, struktury Golgiego, wakuole i chloroplast), błon oraz otaczającej całą komórkę ściany komórkowej (rys. 1).



Celulozowa ściana komórkowa osłania protoplast, chroniąc komórkę przed działaniem czynników zewnętrznych i wewnętrzną siłą turgoru [61]. Nadaje kształt poszczególnym komórkom oraz całej tkance. Jednak nie stanowi głównej bariery w transporcie substancji do i z komórki, ponieważ zawiera liczne, relatywnie duże szczeliny (pory), które powodują jej przepuszczalność dla wody i małych cząstek w niej rozpuszczonych [53]. Carpita i wsp. [10] wykazali, że przeciętna średnica porów w ścianach komórek roślinnych wynosi około 3,5 nm (35Å), podczas gdy cząsteczka sacharozy ma przeciętną średnicę tylko 1 nm [53]. Niezwykle ważnym elementem komórki roślinnej są błony komórkowe (elementarne) z uwagi na ich półprzepuszczalny charakter, ale tylko, gdy są żywe. Po śmierci komórki nagromadzone w niej substancje przenikają na zewnątrz. Błony wraz z wakuolami (zajmują około 90% objętości dojrzałej komórki) biorą czynny udział w gospodarce wodnej, utrzymując turgor (jędrność) komórek [61].

Bilans wodny jest utrzymywany przez osmoregulację pomiędzy komórką a środowiskiem zewnętrznym [57]. Woda wraz z rozpuszczonymi w niej substancjami mogą przenikać na zewnątrz komórki, gdy stężenie roztworu w komórce jest mniejsze od stężenia roztworu otaczającego, np. soli lub cukru. W efekcie komórka traci jędrność, a protoplast ulega powolnemu odwodnieniu i skurczeniu, następuje plazmoliza. Gdy stężenie roztworu w pozbawionej turgoru komórce będzie większe niż w otoczeniu, potencjał wody na zewnątrz komórki będzie większy niż wewnątrz, woda będzie wnikać do jej wnętrza, przywracając komórce początkową jędrność. Potencjał osmotyczny soku komórkowego będzie zwiększał się dążąc do ustalenia stanu równowagi [61]. W przypadku tkanki roślinnej poddawanej odwadnianiu osmotycznemu wyróżnia się dwa rodzaje warstw w parenchymie, warstwę wewnętrzną i zewnętrzną. Wykazują one nieco odmienne zachowanie podczas procesu odwadniania, co należy uwzględnić w opracowywaniu kinetyki tego procesu [49].

Skład chemiczny i struktura tkanki mają istotny wpływ na jakość i właściwości owoców i warzyw mało przetworzonych. Zawartość wielu składników, jak węglowodany, białka, tłuszcze, witaminy, barwniki, kwasy organiczne, związki aromatyczne i składniki mineralne, jest zmienna i zależy m.in. od gatunku i odmiany, stopnia dojrzałości i czasu zbioru, a także warunków uprawy. Najważniejszym składnikiem surowców roślinnych jest woda, która stanowi w owocach 79-87% ogólnej masy, zaś w warzywach 75-96%. Od zawartości wody i jej aktywności zależy intensywność procesów chemicznych, fizycznych, mikrobiologicznych i enzymatycznych, a zatem i trwałość produktów spożywczych [29, 34].

Według Chiralt'a i Talens'a [14] wiele zmian chemicznych może być przypisanych zmianom spowodowanym systemem enzymatycznym komórek narażonych na działanie siły osmotycznej. Do najważniejszych enzymów wpływających na jakość minimalnie przetworzonych owoców i warzyw należy oksydaza polifenolowa, powodująca efekt brązowienia. Za enzymatyczne brązowienie owoców i warzyw odpowiada obecność tlenu, enzymów oksydacyjnych, metali przyspieszających te reakcje (np. miedź, żelazo) oraz odpowiedni substrat. Innym ważnym enzymem tkanki roślinnej jest lipooksydaza, która katalizuje reakcje peroksydazy, powodujące wydzielanie aldehydów i ketonów o przykrym zapachu [1].

## ZASTOSOWANIE ODWADNIANIA OSMOTYCZNEGO W TECHNOLOGII ŻYWNOŚCI MAŁO PRZETWORZONEJ

W porównaniu do termicznych metod usuwania wody, niskotemperaturowe odwadnianie osmotyczne świeżych owoców i warzyw pozwala uzyskać produkty wysokiej jakości, które zachowują naturalne właściwości organoleptyczne i odżywcze surowców [11]. Rosnąca popularność zjawiska osmozy w przetwarzaniu żywności wynika z polepszenia cech jakościowych produktów, jak również skrócenia czasu i zwiększenia wydajności procesów końcowego utrwalania (m.in. suszenia, mrożenia, liofilizacji) [34].

Osmotyczne odwadnianie jest łagodnym procesem usuwania wody w postaci płynnej, bez przemiany fazowej. W owocach i warzywach odwadnianych osmotycznie w roztworze substancji osmoaktywnej ma miejsce wielokierunkowy proces wymiany masy. Następuje jednoczesny, dwustronny przepływ strumieni: przepływ wody i niektórych rozpuszczonych w niej naturalnych substancji (węglowodanów, witamin, barwników, kwasów organicznych, soli mineralnych itd.) do roztworu otaczającego i, w przeciwnym kierunku, substancji osmotycznej z roztworu do produktu [45, 59, 71]. Strumień wody wypływającej z produktu do otoczenia jest znacznie większy niż strumień substancji osmotycznej przepływającej w kierunku przeciwnym.

W pierwszym etapie następuje transport masy z rdzenia (środką) materiału do powierzchni kontaktu, następnie ma miejsce dyfuzja przez powierzchnię materiału do otaczającego roztworu osmotycznego. Współczynnik dyfuzji zmienia się indywidualnie w każdym miejscu i dla uproszczenia metod opisujących kinetykę dyfuzji przyjmuje się stałą średnią wartość dla całego materiału [12]. Główny transport masy, objawiający się gwałtowną utratą wody, ma miejsce na początku procesu i spowodowany jest wysokim potencjałem osmotycznym, którego wartość zmniejsza się wraz z obniżaniem zawartości wody w materiale i przyrostem suchej substancji. Tempo procesu ulega spowolnieniu, aż do osiągnięcia stanu równowagi układu, co powoduje zatrzymanie procesu wymiany masy [35, 71].

Odwadnianie osmotyczne stosowane jest jako właściwy proces lub obróbka wstępna, poprawiająca wartość odżywczą, sensoryczność i właściwości funkcjonalne produktów. Wpływ podstawowych parametrów procesu, takich jak stężenie i skład substancji osmotycznej, temperatura, czas immersji, obróbka wstępna, metoda odwadniania (statyczna lub dynamiczna), rodzaj surowca oraz jego charakterystyka (rozmiar, kształt, stopień dojrzałości), stosunek masy roztworu do masy odwadnianego materiału, tempo procesu, mechanizm przenoszenia masy i jakość produktu były bardzo dokładnie analizowane [3, 7, 26, 37, 43, 56, 58, 64].

## ZMIANY STRUKTURY ORAZ WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH I CHEMICZNYCH TKANKI ROŚLINNEJ ODWADNIANEJ OSMOTYCZNIE

Podczas odwadniania osmotycznego w tkance roślinnej w różnym stopniu, zależnie od warunków prowadzenia procesu i charakterystyki produktu, zachodzą fizyczne i chemiczne zmiany wywołane zmianami cech makroskopowych

materiału, jak właściwości optyczne i mechaniczne [14, 34]. Zmiany te są bezpośrednio związane z barwą, wyglądem (występuje efekt szklistości, półprzezroczystości, pofałdowanie powierzchni itp.) i teksturą produktów odwadnianych z zastosowaniem roztworów osmotycznych [13, 14, 69]. W odwadnianych osmotycznie owocach i warzywach następują również widoczne zmiany w strukturze mikroskopowej. Dotyczą one głównie deformacji kształtu i rozmiarów komórek odwadnianych tkanek [44, 53, 57, 58], jak również zmian składu chemicznego [22, 70].

Zmiany struktury komórkowej produktów roślinnych podczas odwadniania osmotycznego owoców i warzyw analizowano na podstawie modyfikacji w budowie ścian komórkowych, zmian lameli, deformacji membran (plazmolemmy i tonoplastu), zmian oporu ścian komórkowych, profili zawartości wody i stężenia roztworu osmotycznego, zmian we frakcji gazowej i ciekłej oraz utraty jędrności i skurczu tkanki [14, 50, 53, 57]. Złożoność struktury i reakcji fizjologicznych tkanki roślinnej jest powodem występowania trudności w opisywaniu modeli kinetyki tego procesu oraz przebiegu fizycznych i chemicznych zmian zachodzących w produkcji [14].

Do najważniejszych **zmian fizycznych** zachodzących w tkance roślinnej na skutek odwadniania w roztworze osmotycznym należą zmiany właściwości optycznych, tekstury oraz zmiany mikroskopowe komórek materiału wywołane ciśnieniem osmotycznym.

Spśród zmian optycznych spowodowanych osmotycznym odwadnianiem do najbardziej widocznych należą zmiany barwy i wyglądu zewnętrznego. Odwadnianie osmotyczne prowadzone w stosunkowo wysokiej temperaturze i wysokim stężeniu substancji osmotycznej może powodować degradację lub całkowitą utratę barwnika i reakcję brązowienia. Przyczyną zmian barwy może być również fakt, że w wyniku ubytku wody następuje zwiększenie stężenia barwnika, a przez to zwiększenie selektywnej absorpcji światła i współczynnika załamania w ciekłej fazie tkanki, co powoduje występowanie odbicia na powierzchni [14]. Dlatego w celu zachowania naturalnej barwy produktów mało przetworzonych ważne jest, aby temperatura procesu była utrzymana na możliwie niskim poziomie przy optymalnym stężeniu stosowanego roztworu zapewniającym odpowiednią siłę osmotyczną.

Szklistość owoców odwadnianych osmotycznie występuje z powodu tworzenia się cienkiej warstwy cukru na powierzchni owoców, która wygładza jej nierówności. Może następować również krystalizacja cukru w warstwie powierzchniowej, co ma negatywny wpływ na połysk produktów. W przypadku owoców mało przetworzonych, jest to sporadyczne, ponieważ rzadko uzyskuje się tak duże nasycenie materiału [14].

Zjawisko utraty wody i naturalnie występujących w surowcu substancji, absorpcja substancji osmotycznej przez materiał odwadniany oraz zmiany fizjologiczne komórek zależą od występowania chemicznych i biochemicznych reakcji. Powodują one zmiany we właściwościach mechanicznych, w stopniu zależnym od sposobu prowadzenia procesu, charakteru produktu i bezpośrednio wpływają na jego teksturę [12, 57]. Wyniki pomiaru wykonanego za pomocą aparatu INSTRON 1140 dotyczące zmian tekstury owoców (jabłek i śliwek) poddanych działaniu roztworu sacharozy,

wykazały zwiększenie twardości i poprawę tekstury w śliwkach oraz odwrotny efekt w jabłkach. Różnice te wynikają z nieco odmiennej budowy tkanki tych owoców. Polepszenie tekstury śliwek nastąpiło prawdopodobnie na skutek usunięcia wody i usztywnienia ścian komórkowych w wyniku wnikania do materiału sacharozy. Natomiast tkanka jabłek wykazywała osłabioną teksturę i mniejszą odporność na ściskanie [29]. Lewicki i Łukaszuk [43] oprócz zmniejszenia sztywności próbek i ich odporności na deformacje, odnotowali także wzrost lepkości oraz zwiększenie szybkości relaksacji (zachowanie podobne do ciał plastycznych) odwadnianych osmotycznie, a następnie suszonych konwekcyjnie jabłek, w stosunku do próbek poddanych jedynie suszeniu.

Badania nad zjawiskiem skurczu w tkance podczas odwadniania osmotycznego wskazały silną, liniową zależność pomiędzy współczynnikiem skurczu a ubytkiem wody [48, 50, 57]. Mavroutidis i wsp. [48] badając zjawisko skurczu tkanki jabłek i ziemniaków stosowanych do produkcji żywności minimalnie przetworzonej, zauważyli większy o około 15% skurcz w jabłkach niż w ziemniakach, przy jednakowym obniżeniu zawartości wody. Odchylenie to mogło być uzależnione od stopnia wniknięcia substancji osmotycznej i różnic w budowie tkanki.

Nieto i wsp. [57] zaobserwowali, że początkowo podczas odwadniania osmotycznego za pomocą roztworu glukozy ściany komórkowe tkanki jabłek ulegały deformacji podczas skurczu komórki spowodowanego utratą wody. Jednak po upływie 125 min komórki odzyskiwały turgor, a po około 200 min komórki wyglądały jak w materiale świeżym. Ściany komórkowe odzyskiwały pierwotną krągłość, przestrzenie międzykomórkowe typowy kształt, a rozmiary tych komórek były zbliżone do komórek nieodwadnianych. Spostrzegli również, że przepuszczalność membran była ważnym czynnikiem w tym procesie, ponieważ zachowanie to nie było zaobserwowane w próbkach wstępnie blanszowanych.

Powrót do pierwotnych kształtów komórek przypisywano wnikaniu strumienia substancji osmotycznej do wnętrza tkanki [43]. Wykazano też, że następuje relaksacja na skutek uwolnienia energii mechanicznej zmagazynowanej w zdeformowanej skurczem strukturze komórkowej, co potwierdziły badania Nieto i wsp. [57] przeprowadzone za pomocą mikroskopu świetlnego (LM-light microscopic) i skaningowego (ESEM-environmental scanning electron microscopic).

Za odzyskanie trójwymiarowej struktury tkanki jabłek mogą być również odpowiedzialne reologiczne właściwości tkanki owoców. Ściany dojrzałych komórek zachowują się jak ciała lepkosprężyste, dlatego też ich rozmiar i kształt są odzyskiwane w różnym stopniu [57]. Deformacja i skurcz komórek mogą być również spowodowane mechanizmem odpowiedzialnym za osiągnięcie i utrzymanie stanu równowagi układu lub zmianami w rozmiarach fazy gazowej w wyniku modyfikacji przestrzeni międzykomórkowych [57]. Rezultaty badań wykazały, że porowatość jabłek zależała od początkowej struktury i miejsca występowania komórek w tkance (warstwy zewnętrzne zachowywały się inaczej niż wewnętrzne). Porowatość zewnętrznych warstw tkanki zwiększała się znacznie wraz z upływem czasu, podczas gdy porowatość wewnętrznej tkanki ulegała nieznacznej zmianie jedynie w ciągu pierwszej godziny procesu. Odchylenia te wynikały z różnic w wielkości przestrzeni

międzykomórkowych, których wielkość zwiększa się wraz z odległością od powierzchni owocu [50].

Oprócz zmian w teksturze i wyglądzie zewnętrznym próbek odwadnianych osmotycznie, następują także zmiany kształtu i wielkości komórek. Na podstawie badań mikroskopowych zaobserwowano, że komórki w pobliżu powierzchni kontaktu z otaczającym roztworem osmotycznym wykazywały większe zmiany w wyglądzie. Były one bardziej narażone na działanie czynnika osmotycznego niż komórki wewnątrz materiału. W komórkach zewnętrznych warstw tkanki widoczne były wklęsnięcia do wnętrza, a dalsza osmoza (powyżej 120 min) powodowała pofałdowanie i zmarszczenie ścian komórkowych [44, 53, 57]. W wyniku działania roztworu osmotycznego na zanurzone w nim próbki jabłek przestrzenie międzykomórkowe stały się bardziej wydłużone, o nieregularnych krawędziach, przy czym nieregularności te były mniejsze, gdy czas odwadniania był dłuższy (180 min). Nie zaobserwowano w tym przypadku zniszczenia ścian komórkowych. Niektóre komórki odłączały się i były swobodnie zawieszane w przestrzeni międzykomórkowej. Współczynnik kształtu uległ obniżeniu od wartości ok. 30% (w świeżych owocach) do 10% po 2 godzinach odwadniania. Odwadnianie osmotyczne powodowało zmniejszenie obwodu i średnicy komórek. W świeżym jabłku średnica ta wynosiła średnio około 130  $\mu\text{m}$ , a po 180 min procesu około 105  $\mu\text{m}$ . Proces wywarł mniejszy wpływ na przestrzenie międzykomórkowe niż na komórki. W komórkach, które były w bezpośrednim kontakcie z przestrzeniami międzykomórkowymi następował skurcz, podczas gdy pozostałe były chronione przed działaniem siły osmotycznej. Małe komórki wykazywały mniejszą wrażliwość na deformacje niż te o dużych rozmiarach [44].

Mavroudis i wsp. [52] badali zachowanie tkanki jabłek różnych odmian podczas odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozy o stężeniu 50%. Wykazali, że efekt odwadniania w dużym stopniu zależny był od odmiany jabłek, co wiązało się z różnicami w budowie tkanki. Odmiany Jonagold i Kim wykazywały podobnie wysoki ubytek wody, podczas gdy w jabłkach Mutsu był on niski. Jonagold absorbowały najmniejsze ilości substancji rozpuszczonej, natomiast w jabłkach odmiany Mutsu stwierdzono największe wnikanie substancji osmotycznej do tkanki. Analiza kinetyki procesu ujawniła również, że dla każdej odmiany jabłek oraz dla różnych wartości temperatury, tkanki położone bliżej skórki wykazywały większy ubytek wody i mniejsze wnikanie substancji osmotycznej niż tkanki jabłek znajdujące się bliżej gniazda nasiennego. Jest to dowodem na to, że wewnętrzne i zewnętrzne struktury tkanki roślinnej różnią się ułożeniem komórek, ich rozmiarem, morfologią i porowatością [44, 49, 50].

**Zmiany chemiczne** owoców odwadnianych osmotycznie dotyczą zmian stosunku zawartości cukrów do kwasów oraz cech sensorycznych produktu końcowego. Często efekt wysycenia cukrem jest pożądany, ponieważ poprawia smak i akceptowalność produktu. W wielu przypadkach intensywne wysycenie cukrem jest efektem niekorzystnym, ponieważ ma negatywny wpływ na profil produktu spożywczego, który nie może być nadal nazywany naturalnym. Innym niepożądanym skutkiem procesu osmotycznej dehydracji podczas utrwalania żywności jest blokowanie przez zaabsorbowany cukier powierzchniowych warstw owoców, co powoduje dodatkowy opór wymiany masy [4]. W badaniach

przewodzonych przez Lewickiego i Łukaszuk [43] wykazano, że w świeżych jabłkach łączna zawartość cukrów wynosiła 75-80% suchej substancji, podczas gdy w materiale poddanym odwadnianiu osmotycznemu przez 180 min ich zawartość uległa zwiększeniu do około 90%. Jarczyk i wsp. [29] zaobserwowali, że w jabłkach i śliwkach odwadnianych w roztworach sacharozy następowało zmniejszenie zawartości kwasów organicznych. Gdy w świeżych jabłkach kwasowość w przeliczeniu na kwas jabłkowy wynosiła 0,77 g/100g, po procesie odwadniania 0,45 g/100g.

Podczas odwadniania osmotycznego następuje nasycenie materiału substancją osmotyczną lub składnikami roztworu, dodanymi w celu poprawy jakości produktu końcowego, jak również utrwalenia naturalnie występujących właściwości. Niestety strumień usuwanej wody może również wypłukiwać z materiału kluczowe komponenty soku komórkowego [12].

## ZDOLNOŚCI ŻYCIOWE TKANKI ROŚLINNEJ ODWADNIANEJ OSMOTYCZNIE

Doświadczenia prowadzone nad żywotnością komórek po procesie odwadniania osmotycznego wykazały słusność sugestii, że komórki wierzchnich warstw tkanki poddanej odwadnianiu obumierały. Badania na eksperymentalnych próbkach umieszczonych w 50% roztworze sacharozy dowiodły śmierci komórek pierwszej warstwy o grubości 1-2 mm na skutek szoku osmotycznego. Ponieważ doświadczenie było prowadzone w niskiej temperaturze 20°C wyeliminowano możliwość wpływu ogrzewania na zdolności życiowe komórek. Warstwa zawierająca martwe lub zniszczone komórki pokrywała się z warstwą tkanki penetrowaną przez roztwór osmotyczny [52].

## AKTYWNOŚĆ WODY

Ważnym parametrem wpływającym na zmiany jakościowe tkanki owoców i warzyw odwadnianych osmotycznie jest aktywność wody [44, 57]. Obniżenie aktywności wody produktów zależy od użytego roztworu osmotycznego. Wpływ sacharozy zastosowanej do odwadniania filetów rybnych na aktywność wody  $a_w$  zaobserwowany przez Medina-Vivanco i wsp. [55] był mniejszy niż chlorku sodu. Natomiast zgodnie z rezultatami uzyskanymi przez El-Aouar'a i wsp. [25] czas był najbardziej znaczącym czynnikiem warunkującym obniżanie aktywności wody podczas procesu odwadniania papai, bez względu na użyty roztwór.

## DOBÓR PARAMETRÓW ODWADNIANIA OSMOTYCZNEGO

W metodzie odwadniania osmotycznego zastosowanie znalazły roztwory hipertoniczne, które powodują odpowiednio wysokie ciśnienie osmotyczne. Są to głównie roztwory cukrów i soli. Oprócz doboru właściwej substancji osmotycznej pozwalającej na osiągnięcie pożądanych efektów odwadniania, bardzo ważną rolę pełnią takie parametry procesu jak czas immersji, temperatura, stosunek masy roztworu do masy materiału, obecność substancji dodatkowych, jak również sposób prowadzenia procesu. Wpływ wyżej



wymienionych czynników był wielokrotnie wnikliwie analizowany [3, 4, 6, 12, 17, 25, 26, 30, 37, 54, 56, 67, 68].

Kinetyka procesu odwadniania osmotycznego jest zwykle określana na podstawie analizy szybkości ubytku wody (WL), redukcji masy (WR) oraz ilości substancji zaabsorbowanej (SG), a także stosunku WL/SG. Wskaźniki te biorą udział w osiągnięciu równowagi układu, przy czym tempo ubytku wody jest zawsze większe niż tempo zwiększenia stężenia substancji osmotycznej w materiale. Stosunek ubytku wody do wnikania substancji z roztworu otaczającego produkt (WL/SG) wskazuje, że efektywność procesu jest tym większa, im większy jest ubytek wody w odwadnianym materiale, przy jak najmniejszym wnikaniu substancji osmotycznie czynnej [12, 35].

Warunki prowadzenia procesu mają zasadniczy wpływ na efektywność odwadniania z wykorzystaniem zjawiska osmozy. Stosunki WL/SG dla różnych warunków procesu mogą różnić się o nawet 120% i więcej [35].

Jednym z ważniejszych czynników mających wpływ na proces odwadniania osmotycznego tkanki roślinnej i kształtowania właściwości produktu finalnego jest **rodzaj, stężenie oraz skład roztworu stosowanego**. W celu obniżenia zawartości i aktywności wody, roztwór osmotyczny powinien zawierać substancję dobrze rozpuszczalną o stosunkowo małej masie cząsteczkowej. Do najczęściej stosowanych roztworów osmotycznych należą wodne roztwory sacharozy i chlorku sodu. Wykorzystuje się też m.in. roztwory laktozy, maltodekstryn, fruktooligosacharydów, syropu kukurydzianego i skrobiowego o różnym stopniu dekstrynizacji.

Dobór właściwego roztworu jest bardzo ważny pod względem wytwarzania ciśnienia osmotycznego oraz penetracji materiału i utrzymania stabilności głównych składników odżywczych, jak również z uwagi na właściwości sensoryczne otrzymanego produktu. Skład zastosowanego roztworu musi być optymalny również ze względu na możliwość prowadzenia dalszych operacji przetwarzania.

Ze względu na efektywność, wygodę użycia oraz pożądany smak i zapach **sacharoza** okazała się najlepszą ze wszystkich substancji służących do osmotycznego odwadniania [40]. Zaletami sacharozy jest jej niski koszt, szeroki zakres stosowania w przemyśle spożywczym, słodki smak, a także relatywnie duża masa cząsteczkowa i średnica cząstek w stosunku do innych substancji osmotycznych, a tym samym stosunkowo wysoka efektywność procesu. Zwiększając stężenie roztworu sacharozy uzyskujemy większy efekt odwodnienia, ale bez znacznego zwiększenia wnikania sacharozy do tkanki. Jednak rozpuszczalność sacharozy nie jest wysoka i ciśnienie osmotyczne, jakie można uzyskać jest ograniczone. Czynnikiem limitującym stosowanie tej substancji jest również lepkość roztworu [7]. Ponadto tworząca się na powierzchni cienka warstwa sacharozy stanowi barierę chroniącą produkt przed szkodliwym działaniem tlenu, co ogranicza zmiany barwy produktów, ale również utrudnia wymianę masy [4, 41]. Sacharoza przyczynia się do lepszego zachowania substancji zapachowych zawartych w surowcu [41], jest inhibitorem enzymów polifenolowej oksydacji, a także zapobiega fermentacji prowadzonej przez drożdże i pleśń [40].

**Chlorek sodu** posiada mniejszą masę cząsteczkową niż sacharoza, dlatego powoduje większą siłę napędową procesu, a efekt odwodnienia i obniżenie aktywności wody

tkanki roślinnej następują znacznie szybciej w stosunku do innych roztworów. Wykazuje działanie wzmacniające strukturę tkanki roślinnej i właściwości inhibitujące aktywność polifenolooksydazy, powodującej brązowienie owoców i warzyw [12, 41]. Jednak ze względu na słony smak produktów jego zastosowanie ogranicza się do utrwalania mięs, ryb i warzyw [4, 12, 65, 67]. Badania wykazały, że zwiększanie stężenia chlorku sodu powodowało zwiększanie ilości substancji osmotycznej wnikałej do odwadnianego materiału. Prawdopodobnie następowało to z powodu zwiększenia gradientu stężenia osmotycznego i w konsekwencji utraty funkcjonalnej półprzepuszczalności błon komórkowych, które pozwalały na wnikanie dużych ilości substancji osmotycznej. Można to również wytłumaczyć małą masą cząsteczkową chlorku sodu, która pozwala na głębszą dyfuzję roztworu do wnętrza tkanki [30].

**Maltodekstryny i syrop skrobiowy** stanowią dobry wybór w przypadku, gdy chcemy uniknąć dużego efektu słodczy spowodowanego zastosowaniem sacharozy [41]. Współczynnik przedstawiający ilość zaabsorbowanego przez materiał cukru zmniejsza się wraz z rozmiarem cząsteczek substancji osmotycznej. Większe rozmiary cząsteczek to mniejsze wniknięcie cukru w ustalonych warunkach procesu. Dlatego roztwory **syropu kukurydzianego** o stosunkowo dużych cząsteczkach są odpowiednie w procesach impregnacji owoców [7].

Owadnianie w syropie kukurydzianym pozwala uzyskać niskie tempo wnikania substancji osmotycznej oraz znacznie większe wartości stosunku ubytku wody do zaabsorbowanej ilości substancji osmotycznej w porównaniu do odwadniania w roztworach sacharozy. Roztwory syropu kukurydzianego o niskich i średnich (<38) wartościach DE (średnia wielkość cząsteczek substancji) stosowane są w celu uzyskania wysokiej dehydracji przy minimalnym poziomie wnikania cukru do wnętrza odwadnianego materiału [35].

## OPTIMALIZACJA PROCESU ODWADNIANIA OSMOTYCZNEGO

Stężenie roztworu osmoaktywnego ma bardzo znaczący wpływ na szybkość procesu. Mniejszy wpływ wykazano w przypadku czasu immersji materiału w roztworze osmotycznym oraz podwyższonej temperatury. Czas potrzebny do uzyskania odpowiedniego stopnia odwodnienia materiału roślinnego może być regulowany wartością temperatury. Jednak stosowanie wysokiej temperatury powoduje negatywny efekt na jakość produktów końcowych i zwiększenie kosztów energetycznych, dlatego zalecane są wartości temperatury w zakresie 20-40°C. Niskie ilości substancji wnikałej do materiału odwadnianego (<10%) mogą być osiągnięte przy zastosowaniu możliwie najniższych poziomów temperatury i krótkiego czasu procesu, podczas gdy stężenie substancji osmotycznej powinno być wysokie. Efekt ten może być również osiągnięty przy dużym i szybkim strumieniu przepływu wody z tkanki do otaczającego roztworu [25]. Chenlo i wsp. [12] prowadząc odwadnianie całych kasztanów w różnych stężeniach chlorku sodu (17, 22 i 26,5%) w trzech temperaturach (25, 35 i 45°C), nie zauważyli widocznego wpływu temperatury na szybkość procesu, co jak przypuszczali, mogło być spowodowane małą lepkością roztworu chlorku sodu i małą porowatością kasztanów. Ograniczało to

termiczną relaksację. Natomiast wielkość wnikania substancji oraz szybkość ubytku wody były znacznie wyższe przy wysokich stężeniach roztworu. Stosowanie zbyt wysokich stężeń może jednak powodować niekorzystne zmiany objawiające się uszkodzeniem błon komórkowych, co ułatwia wnikanie dużych ilości substancji z roztworu do tkanki.

Stosunek ubytku wody do przyrostu masy substancji osmotycznej w materiale WL/SG był silnie uzależniony od stężenia użytego roztworu osmotycznego oraz masy cząsteczkowej substancji osmoaktywnej. Roztwory o dużej masie cząsteczkowej, jak np. syrop kukurydziany wpływały na uzyskanie znacznie wyższych wartości stosunku ubytku wody do wnikania substancji osmotycznej, co spowodowane było mniejszą dyfuzyjnością substancji osmotycznej do materiału odwadnianego [54]. W zależności od określonego celu procesu możliwe jest kontrolowanie przepływu określonych strumieni wody i substancji osmotycznej dążąc np. do odwodnienia tkanki roślinnej, przy ograniczonym wnikaniu substancji osmotycznej, osiągnięcia efektu odwrotnego lub pośredniego. Utrata kontroli nad parametrami procesu (zwłaszcza temperaturą i stężeniem) mogą prowadzić do uzyskania specyficznego charakteru produktu końcowego [35].

## ZALETY I WADY STOSOWANIA ODWADNIANIA OSMOTYCZNEGO W PRZETWARZANIU ŻYWNOSCI

Zastosowanie odwadniania osmotycznego umożliwia poprawę wielu cech jakościowych żywności. W przypadku odwadniania osmotycznego owoców w roztworze cukru uzyskuje się m.in.:

- zmniejszenie cieplnego oddziaływania, co wpływa na ograniczenie negatywnych zmian barwy i substancji zapachowych,
- ograniczenie kontaktu pomiędzy produktem i powietrzem w wyniku zanurzenia rozdrobionych owoców w stężonym roztworze, co chroni przed enzymatycznym i nieenzymatycznym utlenianiem,
- błony komórkowe nie są całkowicie nieprzepuszczalne dla substancji osmotycznej, w efekcie uzyskuje się produkt łagodniejszy w smaku i słodszy niż surowiec wyjściowy,
- możliwe jest skrócenie czasu suszenia i zwiększenie wydajności suszarki, gdy zastosujemy odwadnianie osmotyczne jako obróbkę wstępną [42].

Zjawisko osmozy wpływa na poprawę stabilności kwasu askorbinowego oraz barwy podczas dalszego suszenia i przechowywania w stanie zamrożonym [66].

Metodą odwadniania osmotycznego można usunąć od 40 do 70% początkowej zawartości wody w materiale, a także obniżyć wartość aktywności wody do 0,95, a nawet 0,90 [29, 35]. Według Kowalskiej i Lenarta [34] przy zastosowaniu niskiej temperatury (brak efektu termicznego) proces ten pozwala na 20-30% obniżenie zawartości wody w materiale. Ponieważ mechanizm tego procesu może być wykorzystany do uzyskania produktu o zmniejszonej, ale wciąż relatywnie wysokiej zawartości wody, produkty odwadniane osmotycznie są klasyfikowane jako żywność o średniej wilgotności [59].

Odwadnianie osmotyczne jest procesem technologicznym, który oprócz usunięcia wody z produktu, pozwala na modyfikację jego właściwości funkcjonalnych poprzez nasywanie substancją osmotyczną lub celowo dodaną do roztworu (np. sole wapnia lub żelaza, soki owocowe, ekstrakty pozyskane z produktów odpadowych, np. z wyłoków owocowych) [15]. Poprzez modyfikację składu odwadnianej tkanki można wpłynąć na poprawę barwy, zawartość witamin i składników mineralnych oraz zachować naturalny aromat [34,66]. Przykładem może być większe zachowanie barwy we wstępnie odwadnianych osmotycznie truskawkach w porównaniu do owoców mrożonych bez wstępnego odwadniania [47].

Proces ten jest często stosowany jako proces produkcji owoców i warzyw mało przetworzonych, ponieważ wpływa na zmniejszenie zmian właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych, które zachodzą podczas suszenia w wysokiej temperaturze.

Zastosowanie odwadniania osmotycznego w produkcji żywności mało przetworzonej ma determinujący wpływ na właściwości produktu końcowego. Podstawową cechą odwadniania osmotycznego jest wnikanie substancji osmotycznej w głąb materiału, co powoduje zmiany struktury żywności wpływające na jej właściwości. Możliwe jest w ten sposób korygowanie cech fizykochemicznych produktów spożywczych przez redukcję zawartości wody, sumowanie czynników obniżających aktywność wody, a także poprzez dodatek substancji o właściwościach antyoksydacyjnych lub innych czynników utrwalających żywność oraz łączenie wartości odżywczej i zalet sensorycznych substancji osmotycznej [66].

Negatywne aspekty wiążą się głównie z dużą różnorodnością i zmiennością materiałów roślinnych, co powoduje trudności w zdefiniowaniu modelu opisującego proces odwadniania osmotycznego [66]. Ponadto pomimo akceptacji żywności kandyzowanej, wnikanie w dużym stopniu substancji osmotycznej do żywności w technologii warzyw i owoców o małym stopniu przetworzenia jest efektem niepożądanym i wówczas staje się głównym problemem w procesie odwadniania osmotycznego. Prace na temat wnikania substancji rozpuszczonej w roztworze hipertonicznym do materiału odwadnianego pokazują, że penetracja roztworu w dużej mierze zależy od wielkości cząstek roztworu oraz parametrów procesu, takich jak stężenie substancji rozpuszczonej i temperatura procesu [26, 35].

Zastosowanie powłok jadalnych przed procesem odwadniania osmotycznego owoców i warzyw jest korzystnym rozwiązaniem w kierunku zmniejszenia absorpcji substancji osmotycznej przez tkankę roślinną. Powłoki służą jako bariera ograniczająca wnikanie składników roztworu do materiału odwadnianego prowadząc do większej intensywności usuwania wody [32, 47]. Właściwości barierowe powłok zależą głównie od ich budowy i stosowanej metody wytwarzania. Niekiedy stosowanie powłok jadalnych ma na celu poprawę selektywnych właściwości naturalnych błon komórkowych. Wówczas zastosowanie dodatkowych membran decyduje o prawidłowym przeprowadzeniu procesu odwadniania osmotycznego [40]. Powłoki jadalne powinny charakteryzować się odpornością na uszkodzenia i łatwością w układaniu [47].



Negatywnym skutkiem odwadniania osmotycznego jest mięknięcie tkanki, co może wynikać m.in. z dużej lepkości stosowanych roztworów [49]. Ponadto strumień usuwanej wody powoduje wymywanie z tkanki owoców i warzyw naturalnych aromatów, barwników, kwasów organicznych i protein do roztworu oraz straty fragmentów mięszu i nasion (np. z owoców kiwi). W przypadku tkanek zwierzęcych wraz z procesem usuwania wody następuje wypłukiwanie białek, tłuszczów i soli. Owoce i warzywa tracą zielony barwnik chlorofilu oraz czerwone antocyjany. Wypłukiwanie kwasów organicznych wpływa na zmiany pH, co może powodować przyspieszenie reakcji hydrolizy cukrów złożonych [22]. Zauważono, że wysokie stężenie NaCl i podwyższona temperatura roztworu powodowały negatywny efekt pojawiania się na powierzchni odwadnianych kasztanów małych, bardzo ciemnych obszarów [12].

Owadnianie osmotyczne wykorzystywane jest jako operacja właściwa w produkcji owoców i warzyw mało przetworzonych lub jako wstępny etap poprzedzający inne procesy, jak suszenie [68] lub zamrażanie [41, 69]. Stosowanie metod technologicznych łączących odwadnianie osmotyczne na przykład z suszeniem konwekcyjnym jest korzystne dla jakości produktu finalnego i ekonomiki procesu produkcyjnego. Odwadnianie osmotyczne przed suszeniem pozwala zmniejszyć wysoką początkową aktywność wody surowców i niekorzystny wpływ wysokiej temperatury, co minimalizuje uszkodzenia tkanki podczas przetwarzania [12]. Połączenie odwadniania osmotycznego z suszeniem powoduje, że warstwy cukru na powierzchni produktów chronią je przed negatywnym działaniem temperatury, a także ograniczają lub całkowicie eliminują konieczność stosowania silnych antyoksydantów, jak np. dwutlenek siarki. Właściwości sensoryczne produktu końcowego mogą ulec poprawie, ponieważ otrzymany produkt jest słodszy i bardziej miękki niż tradycyjnie suszony. Zwiększenie zawartości suchej substancji we wstępnie odwodnionym materiale zwiększa całkowitą wydajność procesu suszenia w porównaniu z suszeniem bez obróbki osmotycznej oraz wydajność suszarki, a także skraca czas suszenia [42, 66]. Ponadto udowodniono, że osmotyczne odwadnianie za pomocą roztworów hipertonicznych zastosowane przed suszeniem konwekcyjnym pozwala obniżyć zużycie energii o 20-30% w porównaniu do typowego suszenia strumieniem powietrza [42].

## PRZEDŁUŻANIE TRWAŁOŚCI PRODUKTÓW MAŁO PRZETWORZONYCH

Ze względu na główne czynniki ograniczające trwałość warzyw i owoców mało przetworzonych, jakimi są procesy fizjologiczne i biochemiczne zachodzące w tkankach tych produktów oraz uszkodzenie struktury świeżych surowców, oprócz odpowiednio dobranych i prowadzonych operacji technologicznych, ważne jest również ich właściwe pakowanie i przechowywanie. Owoce i warzywa odwadniane osmotycznie do 50% redukcji masy należą do produktów nietrwałych, dlatego też wymagają dalszych procesów przetwarzania w celu końcowego utrwalenia [40]. Do przedłużania trwałości produktów mało przetworzonych mogą być

stosowane różne metody pakowania. Do najpopularniejszych z nich należą:

- ▶ pakowanie w atmosferze modyfikowanej (MAP),
- ▶ pakowanie aktywne,
- ▶ metody próżniowe [19, 20, 21].

Znane są również metody przedłużania trwałości mało przetworzonych produktów owocowych i warzywnych przez zastosowanie powłok jadalnych [32, 38, 47, 66] oraz moczenie produktów w wodzie utlenionej bądź solach wapnia [21, 62]. Prowadzono też badania nad wpływem promieniowania UV-C na trwałość produktów mało przetworzonych [46].

**Pakowanie w atmosferze modyfikowanej (MAP)** pozwala zredukować: utratę wody, tempo oddychania, emisję etylenu, opóźnić rozwój drobnoustrojów, procesy gnicia oraz zahamować procesy brązowienia i powstawanie niektórych wad fizycznych [21, 66]. W metodzie pakowania w atmosferze modyfikowanej stosuje się zwykle 2-5% O<sub>2</sub>, 2-5% CO<sub>2</sub> oraz N<sub>2</sub> (do 100%) [5] lub 2-8% CO<sub>2</sub> oraz 5-20% O<sub>2</sub> [21]. Podejmowano również próby pakowania produktów spożywczych w atmosferze ściśle tlenowej lub z większą zawartością CO<sub>2</sub>.

**Pakowanie aktywne** obejmuje interakcję pomiędzy warstwą lub materiałem opakowaniowym z wewnętrzną atmosferą gazu a żywnością. Rozpatrywane jest jako technika kombinowana, ponieważ łączy wiele podstawowych technologii w system pakowania, w celu osiągnięcia przedłużonego okresu trwałości. Przykładem może być zastosowanie pakowania w atmosferze modyfikowanej, wiązanie tlenu z atmosfery opakowania przy użyciu enzymów lub związków chemicznych, kontrola produkcji dwutlenku węgla oraz kontrola produkcji etylenu, kontrolowane uwalnianie konserwantów na powierzchni żywności, etanolu lub związków chemicznych o działaniu antymikrobiologicznym do atmosfery pakowania, kontrolowane uwalnianie substancji chroniących barwę, kontrola temperatury podczas dystrybucji i transportu do konsumenta, etykiety „czas-temperatura” („time-temperature”) do ustalenia długości okresu trwałości produktów lub wskazania przekroczenia wymaganej temperatury przechowywania i dystrybucji, absorbenty światła, wilgoci lub nieprzyjemnego zapachu itp. Ponadto coraz większą popularność zdobywa koncepcja stosowania substancji powlekających powierzchnię materiału w postaci powłok jadalnych lub stosowanie różnorodnych, bardziej tradycyjnych procesów, takich jak kandyzowanie owoców, piklowanie warzyw, wędzenie i suszenie mięsa, ryb i serów [66].

Jedną z najprostszych metod pakowania żywności jest **pakowanie próżniowe**, które hamuje rozwój bakterii, pleśni i drożdży, powodujących psucie się owoców i warzyw, na skutek usunięcia tlenu ze środowiska otaczającego produkt. Pakowanie próżniowe zapobiega również utracie masy produktów i ich powtórnemu zakażeniu. Możliwe stopniowe wnikanie tlenu do opakowania z powietrza zapewnia odpowiednie (2%) stężenie tlenu, co zapobiega rozwojowi drobnoustrojów beztlenowych. Próżniowe pakowanie zapobiega również wielu reakcjom chemicznym (np. utlenianiu), w których tlen jest głównym reagentem [5, 21].

Coraz bardziej popularną metodą pakowania żywności mało przetworzonej jest **powlekanie powierzchni produktów powłokami lub błonami jadalnymi**. Poprzez regulację

wymiany wilgoci, tlenu, dwutlenku węgla, lipidów, związków aromatycznych i barwiących, powłoki i błony jadalne mogą powodować wydłużenie okresu trwałości produktów spożywczych, jak również poprawić ich jakość. Powłoki jadalne definiuje się jako cienkie warstwy materiału jadalnego utworzone na powierzchni żywności, podczas gdy błony jadalne to cienkie warstwy jadalnego materiału, wcześniej wytworzone, a następnie ulokowane na lub między cząstkami żywności. Innymi słowy powłoki jadalne są nakładane na żywność w postaci płynnej przez zanurzenie w materiale powlekającym, zraszanie lub panoramowanie (ang. paning), podczas gdy błony jadalne są wytwarzane w roztworze w postaci stałej i wówczas aplikowane na lub między elementy żywności [66]. Powłoki i błony zawierają zwykle substancje przeciwdziałające niekorzystnym zmianom zachodzącym podczas przechowywania. Są to głównie substancje hamujące rozwój drobnoustrojów [24] oraz zapobiegające utracie barwy i reakjom brązowienia owoców i warzyw [38].

Bakteriobójcze działanie **promieniowania** ultrafioletowego o długości fali 200-280nm (UV-C) wykorzystywano do dezynfekcji powierzchni owoców oraz warzyw minimalnie przetworzonych. Jest to dobra metoda usuwania zanieczyszczeń mikrobiologicznych z powierzchni produktów roślinnych, głównie ze względu na jej skuteczność i koszt [46].

Dobre wyniki w osiągnięciu stabilności mikrobiologicznej dało **moczenie produktów w roztworach wody utlenionej** o różnym stężeniu, a następnie pakowanie w atmosferze modyfikowanej. Moczenie w 5-10% roztworze  $H_2O_2$  oraz pakowanie w atmosferze wysokiego stężenia  $CO_2$  wpłynęło na poprawę jasności oraz cech sensorycznych warzyw. Wykazano również zmniejszenie liczby drobnoustrojów, głównie bakterii mezofilnych oraz hamowanie rozwoju bakterii z rodzaju *Pseudomonas*. Nie stwierdzono również rozwoju bakterii beztlenowych. Dłuższy czas działania roztworu wody utlenionej powodował zwiększenie efektu hamowania rozwoju mikroorganizmów w produktach spożywczych [62].

Jednym z najważniejszych czynników w przedłużaniu trwałości żywności mało przetworzonej jest stosowanie określonej temperatury przechowywania. Wymaga ona ścisłej kontroli, aby zachować właściwą jakość produktów spożywczych [72].

## PODSUMOWANIE

Zastosowanie procesu odwadniania osmotycznego w produkcji żywności o małym stopniu przetworzenia pozwala uzyskać produkty o większej wartości odżywczej i korzystnych walorach sensorycznych w porównaniu z produktami otrzymanymi metodami tradycyjnego suszenia. Produkt finalny charakteryzuje się świeżym zapachem i smakiem, nieznaczną zmianą barwy, poprawą stabilności naturalnych składników, polepszeniem konsystencji i wyglądu zewnętrznego, bez konieczności stosowania chemicznych konserwantów. Możliwa jest również poprawa barwy owoców i warzyw minimalnie przetworzonych przez wprowadzanie naturalnych barwników do roztworu osmotycznego lub modyfikowanie składu chemicznego tych produktów poprzez wzbogacenie w składniki witaminowo-mineralne. Osmotyczne odwadnianie ogranicza niekorzystne zmiany fizyczne i chemiczne. W wyniku usunięcia znacznej ilości wody zawartej w surowcu, obniżenia

aktywność wody, a także zastosowania odpowiednich inhibitorów wzrostu drobnoustrojów otrzymuje się żywność bezpieczną pod względem mikrobiologicznym. Proces ten pozwala również zmniejszyć koszty produkcji, transportu i magazynowania, co przyczynia się do zwiększenia zainteresowania tą metodą producentów żywności.

Osmotyczne odwadnianie jest łagodnym procesem usuwania wody w ciekłej postaci, bez przemiany fazowej. Przy zastosowaniu niskiej temperatury proces ten pozwala na 20-30% obniżenie zawartości wody w materiale żywnościowym. Stosując dodatkowo właściwe metody pakowania oraz przechowywania możliwe jest w ten sposób przedłużenie trwałości produktów mało przetworzonych nawet do 30 dni.

## LITERATURA

- [1] **AHVENAINEN R. 1996.** "New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables". *Trends in Food Science and Technology* 71:179-187.
- [2] **ALOTHMAN M., B. KAUR, A. FAZILAH, R. BHAT, A. A. KARIM. 2010.** "Ozone-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits". *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11: 666-671.
- [3] **ALVES D. G., J. R. J. L. BARBOSA, C. A. GRAZIELLA, F. E. XIDIEH MURR. 2005.** "Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia* L.)". *Journal of Food Engineering* 68: 99-103.
- [4] **AZUBEL P. M., F. E. XIDIEH MURR. 2004.** "Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato". *Journal of Food Engineering* 61: 291-295.
- [5] **BARBOSA-CÁNOVAS G. V., J. J. FERNÁNDEZ-MOLINA, S. M. ALZAMORA, M. S. TAPIA, A. LÓPEZ-MALO, J. WELTI CHANES. 2003.** "Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas". *Technical Manual FAO Agricultural Services Bulletin*, 149.
- [6] **BARRERA C., N. BETORET, P. FITO. 2004.** "Ca<sup>2+</sup> and Fe<sup>2+</sup> influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith)". *Journal of Food Engineering* 65: 9-14.
- [7] **BEHSNILIAN D., W. E. L. SPIESS. 2006.** "Osmotic dehydration of fruits and vegetable". *International Union of Food Science and Technology*, <http://dx.doi.org/10.1051/IUFoST:20060620>.
- [8] **BIEGAŃSKA-MARECIK R., J. CZAPSKI. 2003.** „Porównanie przydatności odmian jabłek do produkcji plastrów o małym stopniu przetworzenia”. *Acta Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria* 22: 115-127.
- [9] **CANTWELL M., T. SUSLOW. 2002.** "Postharvest handling systems: Minimally processed fruits and vegetables". Chpt. 32. W: Kader, A.K.: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, 3rd ed., Univ. California Special Publ. 3311: 445-463.
- [10] **CARPITA N., D. SABULARSE1, D. MONTEZINOS1, D. P. DELMER. 1997.** "Determination of the Pore Size of Cell Walls of Living Plant Cells". *Science* 205(4411): 1144-1147.

- [11] CHÁFER M., J. IZQUIERDO, M. D. ORTOLÁ, J. MARTINEZ-MONZÓ, P. FITO. 1996. "Minimally processed products from orange fruits by osmotic dehydration". *Process Optimisation and Minimal Processing of Food. Materiały konferencyjne Copernicus Programme, Warszawa SGGW*: 60-66.
- [12] CHENLO F., R. MOREIRA, C. FERNANDEZ-HERRERO, G. VAZQUEZ. 2006. "Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions". *Journal of Food Engineering* 73: 164-173.
- [13] CHIRALT A., N. MARTINEZ-NAVARRETE, J. MARTINEZ-MONZO, P. TALENS, G. MORAGA, A. ALALA, P. FITO. 2001. "Changes in mechanical properties throughout osmotic processes Cryoprotectant effect". *Journal of Food Engineering* 49: 129-135.
- [14] CHIRALT A., P. TALENS. 2005. "Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues". *Journal of Food Engineering* 67: 167-177.
- [15] CIURZYŃSKA A., H. KOWALSKA, K. CZAJKOWSKA, A. LENART. 2016. "Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food". *Trends in Food Science & Technology* 50: 186-192.
- [16] COCCI E., P. ROCCULI, S. ROMANI, M. DALLA ROSA. 2006. „Changes in nutritional properties of minimally processed apples during storage”. *Postharvest Biology and Technology* 39: 265-271.
- [17] CORZO O., GOMEZ E.R. 2004. „Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology”. *Journal of Food Engineering* 64: 213-219.
- [18] CORZO O., BRACHO N. 2006. „Equilibrium water and salt contents of sardine sheets during osmotic dehydration”. *Food Science and Technology* 39: 357-363.
- [19] CZAPSKI J. 1996a. „Warzywa i owoce mało przetworzone” (1). *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny* 8: 30-31.
- [20] CZAPSKI J. 1996b. „Warzywa i owoce mało przetworzone” (2). *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny* 9: 29-30.
- [21] CZAPSKI J., E. RADZIEJEWSKA. 2001. „Metody przedłużania trwałości warzyw i owoców mało przetworzonych”. *Przemysł Spożywczy* 1: 16-18.
- [22] DALLA ROSA M., F. GIROUX. 2001. "Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management". *Journal of Food Engineering* 49: 223-236.
- [23] DEL NOBILE M. A., F. LICCIARDELLO, C. SCROCCO, G. MURATORE, M. ZAPPA. 2007. "Design of plastic packages for minimally processed fruits". *Journal of Food Engineering* 79: 217-224.
- [24] DURANGO A. M., N. F. F. SOARES, N. J. ANDRADE. 2006. "Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots". *Food Control* 17: 336-341.
- [25] EL-AOUAR A. A., P. MOREIRA AZOUBEL, J. R. J. L. BARBOSA, F. E. XIDIEH MURR. 2006. "Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.)". *Journal of Food Engineering* 75: 267-274.
- [26] EREN I., F. KAYMAK-ERTEKIN. 2007. "Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology". *Journal of Food Engineering* 79: 344-352.
- [27] ESCALONA V. H., E. AGUAYO, F. ARTÈS. 2005. "Overall quality throughout shelf life of minimally fresh processed fennel". *Journal of Food Science* 70(1): 13-17.
- [28] GIANOTTI A., G. SSCCHETTI, M. E. GUERZONI, M. DALLA ROSA. 2001. "Microbial aspects on short-time osmotic treatment of kiwifruit". *Journal of Food Engineering* 49: 265-270.
- [29] JARCZYK A., M. WITTER, D. MATUSKA. 1994. „Charakterystyka składu chemicznego i tekstury wybranych owoców odwadnianych osmotycznie i utrwalonych różnymi metodami”. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny* 38(09): 22-25.
- [30] JOKIĆ A., J. GYURA, L. LEVIĆ, Z. ZAVARGO. 2007. „Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride”. *Journal of Food Engineering* 78: 47-51.
- [31] KHATTAK M. K., N. BIBI, A. B. KHATTAK, M. A. CHAUDRY. 2005. „Effect of irradiation on microbial safety and nutritional quality of minimally processed bitter gourd (*Momordica charantia*)”. *Journal of Food Science* 70(5): 255-259.
- [32] KHIN M. M., W. ZHOU, C.O. PERERA. 2006. „A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes”. *Journal of Food Engineering* 77: 84-95.
- [33] KOIDIS A., A. RAWSON, M. TUOHY, N. BRUNTON. 2012. „Influence of unit operations on the levels of polyacetylenes in minimally processed carrots and parsnips: An industrial trial”. *Food Chemistry* 132: 1406-1412.
- [34] KOWALSKA H., A. LENART. 2003. „Znaczenie wymiany masy w tworzeniu żywności nowej generacji”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 2: 12-17.
- [35] LAZARIDES H. N., E. KATSANIDIS, A. NICKOLAIDIS. 1995. „Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake”. *Journal of Food Engineering* 25: 151-166.
- [36] LAZARIDES H. N., N. E. MAVROUDIS. 1996. „Kinetics of osmotic dehydration of a highly shrinking vegetable tissue in a salt-free medium”. *Journal of Food Engineering* 30: 61-74.
- [37] LAZARIDES H. N., V. GEKAS, N. MAVROUDIS. 1997. „Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing”. *Journal of Food Engineering* 31: 315-324.
- [38] LEE J. Y., H. J. PARKA, C. Y. LEE, W. Y. CHOI. 2003. „Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents”. *Food Science and Technology* 36: 323-329.



- [39] LEHTO M., R. KUISMA, J. MÄÄTTÄ, H. R. KYMÄLÄINEN, M. MÄKI. 2011. „Hygienic level and surface contamination in fresh-cut vegetable production plants”. *Food Control* 22: 469-475.
- [40] LENART A. 1976. „Osmotyczne odwadnianie produktów spożywczych”. *Przemysł Spożywczy* 30(3): 86-88.
- [41] LENART A. 1990A. „Osmotyczne odwadnianie jako obróbka wstępna przed suszeniem konwekcyjnym owoców i warzyw”. *Przemysł Spożywczy* 44(12): 307-309.
- [42] LENART A., P. P. LEWICKI. 1996. „Owoce i warzywa utrwalane sposobem osmotyczno-owiewowym”. *Przemysł Spożywczy* 50(8): 70-72.
- [43] LEWICKI P. P., A. LUKASZUK. 2000. „Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying”. *Journal of Food Engineering* 45: 119-126.
- [44] LEWICKI P. P., R. PORZECKA-PAWLAK. 2005. „Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure”. *Journal of Food Engineering* 66: 43-50.
- [45] LI L. 2006. „Numerical simulation of mass transfer during the osmotic dehydration of biological tissues”. *Computational Materials Science* 35: 75-83.
- [46] LÓPEZ-RUBIRA V., A. CONESA, A. ALLENDE, F. ARTÉS. 2005. „Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C”. *Postharvest Biology and Technology* 37: 174-185.
- [47] MATUSKA M., A. LENART, H. N. LAZARIDES. 2006. „On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake”. *Journal of Food Engineering* 72: 85-91.
- [48] MAVROUDIS N. E., V. GEKAS, H. N. LAZARIDES. 1996. „Shrinkage in osmotic dehydration of plant tissues. Process Optimisation and Minimal Processing of Food”. *Materiały konferencyjne Copernicus Programme, Warszawa SGGW*: 67-75.
- [49] MAVROUDIS N. E., V. GEKAS, I. SJÖHOLM. 1998A. „Osmotic dehydration of apple - effects of agitation and raw material characteristic”. *Journal of Food Engineering* 35: 191-209.
- [50] MAVROUDIS N. E., V. GEKAS, I. SJÖHOLM. 1998B. „Osmotic dehydration off apples. Shrinkage phenomena and the significance of initial structure on mass transfer rates”. *Journal of Food Engineering* 39: 101-123.
- [51] MAVROUDIS N. E., P. DEJMEK, I. SJÖHOLM. 2004A. „Studies on raw material characteristics in different Swedish apple varieties”. *Journal of Food Engineering* 62: 121-129.
- [52] MAVROUDIS N. E., P. DEJMEK, I. SJÖHOLM. 2004B. „Osmotic-treatment-induced cell death and osmotic processing kinetics of apples with characterized raw material properties”. *Journal of Food Engineering* 63: 47-56.
- [53] MAURO M. A., D. Q. TAVARES, F. C. MENEGALLI. 2002. „Behavior of plant tissue in osmotic solutions”. *Journal of Food Engineering* 56: 1-15.
- [54] MAYOR L, R. MOREIRA, F. CHENLO, A. M. SERENO. 2006. „Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions”. *Journal of Food Engineering* 74: 253-262.
- [55] MEDINA-VIVANCO M., P. J. SOBRAL. A. DO, M. D. HUBINGER. 2002. „Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions”. *Chemical Engineering Journal* 86: 199-205.
- [56] MOREIRA R., A. M. SERENO. 2003. „Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions”. *Journal of Food Engineering* 57: 25-31.
- [57] NIETO A. B., D. M. SALVATORI, M. A. CASTRO, S. M. ALZAMORA. 2004. „Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features”. *Journal of Food Engineering* 61: 269-278.
- [58] NIETO A. B., S. VICENTE, K. HODARA, M. A. CASTRO, S. M. ALZAMORA. 2013. „Osmotic dehydration of apple: Influence of sugar and water activity on tissue structure, rheological properties and water mobility”. *Journal of Food Engineering* 119: 104-114.
- [59] PEIRÓ R., V. M. C. DIAS, M. M. CAMACHO, N. MARTINEZ-NAVARRETE. 2006. „Micronutrient flow to the osmotic solution during grapefruit osmotic dehydration”. *Journal of Food Engineering* 74: 299-307.
- [60] PIGA A., D'AQUINO S., AGABBIO M., EMONTI G., FARRIS G. A. 2000. „Influence of Storage Temperature on Shelf-life of Minimally Processed Cactus Pear Fruits”. *Food Science and Technology*, 33, 15-20.
- [61] PRACA ZBIOROWA pod redakcją B. POLAKOWSKIEGO. 1991. *Botanika*. Warszawa: PWN: 23-70.
- [62] RADZIEJEWSKA-KUBZDELA E., J. CZAPSKI, K. CZACZYK, A. ZIELIŃSKA. 2003. „Wpływ moczzenia w wodzie utlenionej oraz pakowania w atmosferze modyfikowanej na przedłużenie trwałości selera korzeniowego mało przetworzonego”. *Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria* 22: 129-137.
- [63] RASTOGI N. K., K. S. M. S. RAGHAVARAO. 2004. „Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration”. *Food Science and Technology* 37: 43-47.
- [64] SANTAGAPITA P. R., U. TYLEWICZ, V. PANARESE, P. ROCCULI, M. DALLA ROSA. 2016. „Non-destructive assessment of kiwifruit physico-chemical parameters to optimise the osmotic dehydration process: A study on FT-NIR spectroscopy”. *Bio-system Engineering* 142: 101-109.
- [65] SAPERS G. M., R. L. MILLER, F. C. MILLER, P. H. COOKE, S. CHOI. 1994. „Enzymatic browning control in minimally processed mushrooms”. *Journal of Food Science* 59(5): 1042-1047.
- [66] SENESI E. 2003. „Application of mild technology to horticultural products. Experiences from the IVTPA”. *Food, Agriculture & Environment* 1(2): 150-159.

- [67] **SERENO A. M., R. MOREIRA, E. MARTINEZ. 2001.** "Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt". *Journal of Food Engineering* 47: 43-49.
- [68] **SINGH B., A. KUMAR, A. K. GUPTA. 2007.** "Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes". *Journal of Food Engineering* 79: 471-480.
- [69] **TALENS P., I. ESCRICHE, N. MARTINEZ-NAVARRETE, A. CHIRALT. 2003.** "Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit". *Food Research International* 36: 635-642.
- [70] **TOVAR B., H. S. GARCIA, M. MATA. 2005.** „Evolution of carbohydrates of pre-cut mango slices subjected to osmotic dehydration". *Plant Foods for Human Nutrition* 60: 181-186.
- [71] **TSAMO C. V. P., A. F. BILAME, R. NDJOUENKEU, Y. J. NONO. 2005.** "Study of material transfer during osmotic dehydration of onion slices (*Allium cepa*) and tomato fruits (*Lycopersicon esculentum*)". *Food Science and Technology* 38: 495-500.
- [72] **VITTI M. C. D., L. K. YAMAMOTO, F. F. SASAKI DEL, J. S. AGUILA, R. A. KLUGE, A. P. JACOMINO. 2005.** "Quality of minimally processed beet roots stored in different temperatures". *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48(4): 503-510.
- [73] **WÓJCIK-STOPCZYŃSKA B., M. GRZESZCZUK, B. JAKUBOWSKA. 2004.** „The estimation of some constituents contents in minimally processed vegetable salads purchased in the retail network". *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria* 3(1): 157-165.
- [74] **ZHI-SHUANG WU, M. ZHANG , B. ADHIKARI. 2013.** "Effects of high pressure argon and xenon mixed treatment on wound healing and resistance against the growth of *Escherichia coli* or *Saccharomyces cerevisiae* in fresh-cut apples and pineapples". *Food Control* 30: 265-271.