

Dr inż. Agnieszka SZPARAGA
Katedra Biochemii i Biotechnologii
Dr inż. Maria DYMKOWSKA-MALESA
Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
Wydział Mechaniczny, Politechnika Koszalińska
Dr inż. Andrzej WESOŁOWSKI
Katedra Podstaw Bezpieczeństwa, Wydział Nauk Technicznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

ODWADNIANIE OSMOTYCZNE W TECHNOLOGII UTRWALANIA OWOCÓW I WARZYW[®]

Osmotic dehydration process in fruit and vegetables preservation technology[®]

Słowa kluczowe: odwadnianie osmotyczne, surowce roślinne, osmoza.

W przeprowadzonej pracy analityczno-przeglądowej przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie odwadniania osmotycznego ze szczególnym uwzględnieniem surowców roślinnych. Scharakteryzowano proces odwadniania, jako metodę wstępnego utrwalaania owoców i warzyw. Ponadto określono wpływ osmozy na jakość surowców roślinnych.

Key words: osmotic dehydration, plant materials, osmosis.

In the paper the current state of knowledge in the field of osmotic dehydration with particular attention plant materials was presented. Dewatering process, as a method of preliminary fruit and vegetables preservation was characterized. Additionally, the influence of osmosis on the plant material quality was defined.

WSTĘP

Owoce i warzywa stanowią jedną z głównych grup surowców poddawanych procesom utrwalaania. Przetwórstwo owoców i warzyw charakteryzuje się sezonowością i wahaniami w podaży surowca. Wzbogacenie rynku produktów spożywczych w nowe wyroby związane jest z rozwojem badań nad skutecznością metod utrwalaania. Zarówno mrożenie, jak i obróbka cieplna z użyciem wysokich temperatur powodują zmiany w tkankach i teksturze owoców, głównie ze względu na niszczenie struktury komórkowej oraz utratę turgoru [13, 14]. W ciągu kilku ostatnich lat na świecie przeprowadzono wiele badań dotyczących procesu odwadniania osmotycznego owoców i warzyw [1, 5, 17, 18, 26]. Jednak tylko nieliczne dotyczą kojarzonej metody utrwalaania jaką jest dehydrofreezing, która ma na celu wykorzystanie zalet odwadniania osmotycznego i zamrażania [13, 14, 17, 29].

Celem artykułu jest prezentacja aktualnego stanu wiedzy w zakresie odwadniania osmotycznego ze szczególnym uwzględnieniem surowców roślinnych. Dodatkowo scharakteryzowanie procesu odwadniania, jako metody wstępnego utrwalaania owoców i warzyw. Szczególnie zwrócono uwagę na wpływ osmozy na jakość surowców roślinnych, jak również główne czynniki wpływające na efektywność odwadniania.

ODWADNIANIE OSMOTYCZNE

Owadnianie osmotyczne jest techniką usuwania wody z materiału o budowie komórkowej (np. owoce i warzywa) w celu zmniejszenia aktywności wodnej [22]. Proces ten umożliwia usuwanie części wody zawartej w produkcie bez przemiany fazowej a (tym samym) przez zmianę składu

chemicznego (wzrost suchej substancji, istotne zmiany aktywności wodnej). Metodą osmotyczną w zależności od surowca i zastosowanych parametrów procesu, można usunąć do 70% zawartości wody. Uzyskuje się w ten sposób obniżenie aktywności wody w produkcie od 0,95 do 0,90. Powoduje to hamowanie rozwoju drobnoustrojów, nie zapewnia jednak produktowi całkowitej trwałości. Odwadnianie osmotyczne nazywane jest także procesem zanurzania surowców w hipertonicznych roztworach cukrów lub soli [9]. Podczas odwadniania osmotycznego zachodzą zjawiska wielokierunkowej wymiany masy pod wpływem gradientu ciśnienia osmotycznego, powstającego na granicy roztworów, spowodowanego różnicą stężeń [22, 32].

Relacje pomiędzy wymienionymi strumieniami masy wynikają z właściwości wybiórczych błon komórkowych jak i ze struktury kompleksu komórek. Tak złożona wymiana masy powoduje obniżenie zawartości wody przy jednoczesnym przyroście suchej substancji oraz zmianę składu chemicznego odwadnianej żywności [3, 5]. Procesowi odwadniania osmotycznego towarzyszy także migracja związków naturalnie występujących w żywności, takich jak: cukry, kwasy organiczne, witaminy, związki mineralne, substancje aromatyczne. Siłą napędzającą która powoduje odwadnianie komórek surowca jest wyższe ciśnienie osmotyczne roztworu hipertonicznego. Usuwanie wody podczas tego procesu zachodzi głównie dzięki dyfuzji oraz przepływowi kapilarnemu, natomiast transport substancji osmotycznej tylko poprzez dyfuzję [32]. Cała wymiana masy pomiędzy roztworem osmotycznym oraz produktem żywnościowym może wpływać na końcowy skład oraz jakość odwodnionego produktu. Przy założeniu warunków idealnej półprzepuszczalności, roztwór przechodzi przez błonę/membranę wprost do komórek [36].

Specyficzna i niekiedy skomplikowana struktura wewnętrzna surowców powinna być brana pod uwagę jako czynnik wpływający na efektywność i skuteczność odwadniania. Tkanka surowców roślinnych odznacza się naturalną półprzepuszczalnością błon. Zauważono jednak, że przepływ wody z surowca jest znacznie większy niż ilość wnikażącej substancji osmotycznej z roztworu. Wymiana masy pomiędzy roztworem a odwadnianym produktem (zmniejszanie zawartości wody) trwa do momentu wyrównania (stabilizacji) ciśnień na granicy faz. W związku z tym mamy do czynienia zarówno ze spadkiem masy odwadnianego surowca, jak i również ze zmniejszeniem aktywności wodnej. Według autorów wielu prac możliwa jest nawet 50% redukcja masy świeżych owoców i warzyw podczas odwadniania osmotycznego [33, 34, 35].

Odwadnianie osmotyczne to proces wymiany masy, na który wpływa wiele czynników. Kinetyka tego procesu jest z reguły opisywana takimi terminami jak ubytek wody (WL), przyrost suchej substancji (SG) oraz redukcja masy [36]. Całkowita wymiana masy podczas odwadniania zależna jest od bardzo dużej liczby czynników. Poprzez zmianę warunków procesu, właściwości surowca (charakterystyczna budowa) możliwe jest uzyskanie produktu o różnym stopniu odwodnienia i wysycenia substancją osmotyczną [3].

Odwadnianie osmotyczne zależy m.in. od: rodzaju i stopnia rozdrobnienia surowca, stężenia i wielkości cząstek substancji osmotycznej, stosunku masy odwadnianego surowca do masy roztworu osmotycznego, temperatury i czasu odwadniania oraz od obróbki wstępnej [15, 16, 17].

Efektywność odwadniania w dużej mierze zależy i jest ograniczona poprzez półprzepuszczalność ścian komórkowych [9, 12]. Dobra ich przepuszczalność doprowadza do szybszego usuwania wody. Jednakże ściana komórkowa tkanek roślinnych przejawia wysoki opór dla transportu wody i substancji osmotycznych, a tym samym spowalnia cały proces odwadniania [8]. Dodatkowo częściowe uszkodzenie błon komórkowych podczas różnych metod obróbki wstępnej może być uznawane jako korzystne ze względu na zwiększenie intensywności wymiany masy podczas odwadniania. Blanszowanie, obieranie, pokrywanie powłokami, zamrażanie oraz rozmrażanie, wysokie ciśnienie (rzędu 100-800 MPa) oraz pole elektryczne wysokiej częstotliwości należą do głównych operacji wstępnych stosowanych przed odwadnianiem osmotycznym, w celu zwiększenia kinetyki wymiany masy [1, 2, 7, 11, 18, 21, 23, 33, 34, 35, 38, 39].

Blanszowanie jako wstępna obróbka przed odwadnianiem według Ogonek i Lenarta (2003) służy zmodyfikowaniu właściwości powierzchniowych świeżych surowców. Przeprowadzone przez autorów badania potwierdzają wcześniejsze stwierdzenia, iż ten rodzaj obróbki wstępnej wpływa na wzrost ubytków masy i zwiększenie skurczu, co osłabia strukturę owoców i przyczynia się do uwolnienia powietrza zawartego w owocach [28]. Kowalska i inni (2000) stwierdzają ponadto, iż obróbka zdecydowanie obniża zawartość wody w badanych owocach [15].

Zastosowanie powłok jadalnych istotnie wpływa na wymianę masy w czasie odwadniania osmotycznego mrożonych owoców [28]. Piotrowski i inni (1999) badali wpływ błon jadalnych na efekt suszenia konwekcyjnego jabłek surowych

i odwadnianych osmotycznie. Jako substancje błonotwórcze zastosowano pektynę wysokometylowaną, pektynę niskometylowaną, maltodekstrynę średnioskuczroną i preparat skrobiowy „purity gum”. Z badanych substancji błonotwórczych największą szybkość suszenia jabłek surowych i odwodnionych osmotycznie miały próbki pokryte błoną z maltodekstryny [31]. Wpływ błon jadalnych na wymianę masy podczas odwadniania osmotycznego badali również Dąbrowska i Lenart (1999). Jabłka pokrywano błonami jadalnymi (błona wytworzona z 2% roztworu pektyny niskometylowanej), następnie poddawano je odwadnianiu osmotycznemu w roztworze glukozy, sacharozy i syropu skrobiowego. Zastosowanie błony pektynowej wpłynęło na zwiększenie ubytków wody w stosunku do próbek odwadnianych bez błony. Błona pektynowa ograniczała także wnikanie substancji osmotycznej [6]. Podobne rezultaty uzyskano w badaniach prowadzonych przez Ogonek i Lenarta (2003) [28].

Stosowanie obróbki enzymatycznej ma na celu poprawienie efektywności odwadniania. Sitkiewicz (2001) dowodzi, iż zastosowana równocześnie z odwadnianiem osmotycznym obróbka enzymatyczna zwiększa efektywność procesu, powodując wzrost ubytku wody i zmniejszając przyrost suchej substancji podczas odwadniania [37]. Odwadniane osmotycznie owoce mogą być dodawane do jogurtów. Z punktu widzenia konsumenta im większy dodatek owoców do jogurtu, tym lepiej. W końcowym produkcie, owoce powinny w jak największym stopniu zachować pierwotny kształt i wygląd. Technologia produkcji jogurtów z dodatkiem owoców przewiduje jednak mieszanie, podczas którego około 50% dodanych owoców ulega mechanicznemu uszkodzeniu struktury wewnętrznej i zewnętrznej. Zwiększenie mechanicznej odporności na uszkodzenia cząstek owoców wymaga ich wysycenia cukrem, co jest niepożądane w produktach dietetycznych. Problem ten rozwiązano stosując pektynoesterazę wytwarzaną przez pleśń *Aspergillus aculeatus* otrzymaną w wyniku genetycznej modyfikacji *Aspergillus oryzae*. Enzym hydrolizuje zestryfikowane metanolem grupy karboksylowe cząsteczek kwasu galakturonowego. Zastosowanie równocześnie z odwadnianiem osmotycznym obróbki enzymatycznej umożliwia ponad 2,5-krotne zwiększenie efektywności osmotycznego odwadniania, powodując wzrost ubytku wody i zmniejszając przyrost suchej substancji podczas odwadniania. Uzyskane wyniki przekładały się na zwiększenie odporności mechanicznej struktury owoców [37].

WPŁYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA ODWADNIANIE OSMOTYCZNE

Rodzaj surowca, odmiana i stopień dojrzałości mają istotny wpływ na naturalną strukturę tkankową, komórkową, wielkość przestrzeni międzykomórkowych, teksturę [18]. Dodatkowo skład chemiczny (białka, tłuszcze, cukry, sól), struktura fizyczna (porowatość, wielkość komórek, zawartość włókna, skórka) mogą determinować kinetykę osmozy surowców [32]. W szczególności porowatość materiału wpływa znacząco na współczynnik wymiany masy [24, 25]. Kształt oraz wymiary surowca decydują o powierzchni stykającej się z roztworem osmotycznym. Bardziej skomplikowana i rozwinięta powierzchnia sprzyja wnikaniu substancji osmotycznej [40, 41].

Proces osmozy jest również zależny od fizykochemicznych właściwości użytego roztworu osmotycznego, ponieważ różnice w efektywności odwadniania wynikają przede wszystkim z masy cząsteczkowej i rozpuszczalności w wodzie substancji osmotycznej [32]. Odwadnianie osmotyczne przy użyciu różnych roztworów osmotycznych przebiega w sposób zależny od ich masy cząsteczkowej. Przy tych samych stężeniach wysokocząsteczkowe substancje bardziej wpływają na ciśnienie osmotyczne, a tym samym początkowa szybkość usuwania wody jest mniejsza niż przy substancjach o niższych masach cząsteczkowych. W przypadku substancji wysokocząsteczkowych obserwuje się ich mniejsze wnikiwanie do wnętrza materiału [17]. Wybór roztworu osmotycznego musi uwzględniać następujące czynniki:

- ✓ Wpływ substancji osmoaktywnej na właściwości sensoryczne produktu,
- ✓ Relatywny koszt roztworu w stosunku do wartości końcowego produktu,
- ✓ Masę cząsteczkową roztworu i substancji osmotycznej [32].

Najczęściej stosowanymi roztworami odwadniającymi są roztwory chlorku sodu, sacharozy, glukozy, syropu kukurydzianego i skrobiowego.

W ostatnich latach przeprowadzono szereg badań eksperymentalnych dotyczących wpływu masy cząsteczkowej substancji osmotycznej na przebieg procesu usuwania wody z surowców roślinnych. Ich wyniki prowadziły niekiedy do sprzecznych wniosków. W wielu pracach badawczych dowiedziono, iż stopień przenikania substancji osmotycznej jest wprost proporcjonalny do stężenia roztworu i odwrotnie proporcjonalny do wielkości cząstek tej substancji [30]. Lazarides i Mavroudis (2001) stwierdzili, że stosowanie roztworów wysokocząsteczkowych węglowodanów umożliwiło jedynie migrację wody z surowca, przy niemal zerowym wnikiwaniu substancji osmotycznej [18].

W innych badaniach dowiedziono, że stosowanie glukozy skutkowało większymi ubytkami wody i przyrostami suchej substancji podczas odwadniania niż analogiczne użycie sacharozy [3, 4, 30, 39].

Wpływ rodzaju zastosowanej substancji osmotycznej na późniejsze zabiegi przemysłowe badany był przez Cerковиak i Lenarta (1999). Na podstawie uzyskanych wyników badań autorzy wykazali, że ubytki wody w czasie odwadniania w roztworze glukozy są istotnie wyższe od ubytków uzyskanych w roztworze syropu skrobiowego [4]. Natomiast Dąbrowska i Lenart (1999) stwierdzili, że dla próbek odwadnianych w roztworze sacharozy uzyskano większe ubytki wody w stosunku do próbek odwadnianych w roztworze glukozy i syropu skrobiowego [6]. Rodzaj substancji osmoaktywnej miał istotny wpływ na przyrosty suchej substancji jabłek podczas odwadniania osmotycznego (również pokrytych błoną pektynową). Największe przyrosty suchej substancji uzyskano dla próbek odwadnianych w roztworze glukozy i sacharozy, natomiast najmniejsze - dla próbek odwadnianych w roztworze syropu skrobiowego [6]. Stwierdzono także, że połączenie dwóch substancji osmotycznych tj. sacharozy i chlorku sodu w roztworze wpłynęło na znaczące zmniejszenie aktywności wodnej ziemniaków w porównaniu z roztworem

samej sacharozy, pomimo, że współczynniki ubytku wody były w obu przypadkach takie same [16, 17, 21, 33].

Parametry procesu odwadniania wpływają na usuwanie wody z surowców. Spośród wielu czynników, do najważniejszych należą temperatura i czas odwadniania. Czynniki te w głównej mierze wpływają na ubytek wody i zawartość suchej substancji. W wielu pracach wykazano pozytywny wpływ temperatury i czasu na szybkość zmniejszania zawartości wody w surowcu podczas odwadniania. Ubytek wody zwiększał się wraz ze wzrostem temperatury, podczas gdy przyrost suchej substancji nie był już tak znacząco powiązany z tym parametrem [19]. Lazarides (2001) badał wpływ temperatury na odwadnianie osmotyczne ziemniaków. Stwierdził, że podwyższenie temperatury do 45°C skutkowało zwiększeniem ubytku wody i przyrostem suchej substancji oraz wyższym stosunkiem tych wskaźników [18]. Podwyższona temperatura powoduje większy przepływ wody i intensywną wymianę masy w strefie powierzchniowej produktu, dzięki obniżonej lepkości roztworu osmotycznego. Spowodowane jest to występującą, w miarę podwyższania temperatury, deformacją ścian komórkowych oraz zakłóceniem selektywnej zdolności przepływu przez błony komórkowe różnych substancji. Niższe temperatury warunkują mniejszą intensywność wymiany masy podczas odwadniania osmotycznego. Wynika to z dużego oporu stawianego przez tkankę, co z kolei wymaga zastosowania znacznie dłuższego czasu odwadniania osmotycznego surowców [17].

Wydłużenie czasu odwadniania powoduje zwiększenie intensywności wymiany masy, aż do momentu ustalenia stanu równowagi pomiędzy wodą zawartą w komórkach i roztworem osmotycznym. Dłuższy czas prowadzenia procesu w roztworach cukrów skutkuje również wyższą koncentracją suchej substancji i większym ubytkiem wody w produkcie [3]. Z drugiej strony im krótszy czas kontaktu surowca z roztworem, tym mniejsze zmiany sensoryczne. Nsonzi i Ramaswamy (1998) stwierdzili, że krótszy czas odwadniania osmotycznego wpłynął na zminimalizowanie zmian barwy jagód poddanych suszeniu konwekcyjnemu [27].

Badania nad wpływem czasu prowadzenia odwadniania osmotycznego i temperatury zastosowanego roztworu substancji osmotycznej, prowadzone były m.in. przez Kowalską i innych (2000). Na podstawie przeprowadzonych badań autorzy wykazali, że zmiany zawartości wody w stosunku do początkowej zawartości w funkcji czasu od 1 do 24 godzin wahają się w granicach od 16 do 42% w truskawkach świeżych, a od 14 do 44% w truskawkach mrożonych. W mrożonych truskawkach stwierdzono największe zmiany zawartości wody [15]. Według Kowalskiej i Lenarta (2001) podwyższenie temperatury procesu odwadniania osmotycznego wpływa na obniżenie zawartości wody w truskawkach [16]. Natomiast badania wykonane przez Madyniak i Lenarta (2000) dowodzą, iż zarówno temperatura jak i czas trwania procesu odwadniania nie wpływają istotnie na zmiany zawartości suchej substancji w odwadnianych jabłkach [20].

Istnieją jeszcze inne możliwości zwiększania intensywności odwadniania osmotycznego poza sterowaniem czasem i temperaturą procesu. Zauważono bowiem, że ciągła cyrkulacja roztworu osmotycznego wokół surowca prowadzi w rezultacie do zwiększenia tempa usuwania wody [24, 25, 27].

Odwadnianie osmotyczne może być prowadzone również w warunkach próżni. Proces wymiany masy w roztworach cukrów jak i soli pod obniżonym ciśnieniem zachodził inaczej niż w warunkach ciśnienia atmosferycznego [36]. Zmiana ciśnienia prowadzi bowiem do uwalniania gazów (powietrza) z porów surowca. W miejsce usuniętego powietrza wnika roztwór osmotyczny, powodując zwiększenie wysycenia substancją osmotyczną, a tym samym wpływa na intensywność wymiany masy [5, 10, 32]. Przeprowadzono wiele badań dotyczących możliwości wykorzystania próżni w technologii odwadniania [10, 26, 33, 36, 39]. Wszystkie badania wykazały, że obniżone ciśnienie podczas odwadniania osmotycznego różnych surowców roślinnych wpływa na zwiększenie intensywności procesu.

PODSUMOWANIE

W wielu wymienionych pracach przedstawione są zalecenia odwadniania osmotycznego. Wśród wielu korzyści należy wymienić najważniejsze dla przemysłu spożywczego. Odwadnianie osmotyczne wpływa na jakość produktu (zachowanie barwy, smaku, tekstury surowców przy niewielkim zmniejszeniu wartości odżywczej), a także oszczędność energii podczas kolejnych procesów utrwalań. Zanurzanie surowców w roztworach substancji osmotycznych jest korzystnym sposobem na zredukowanie w nich zawartości wody, przy jednoczesnym zachowaniu niemal niezmięnionej jakości początkowej. Zachowana wysoka jakość otrzymywanych półproduktów wynika ze stosowania stosunkowo niskich temperatur procesu (30-50°C), które nie powodują zniszczenia półprzepuszczalności błon komórkowych. Ponadto surowiec zanurzony w roztworze odwadniającym, nie jest narażony na niekorzystne działanie tlenu. W związku z tym nie istnieje potrzeba stosowania antyoksydantów, mających zapobiegać ciemnieniu nie- i enzymatycznemu.

Odwadnianie osmotyczne znalazło szerokie zastosowanie w technologii utrwalań owoców i warzyw. Jednakże traktowane jest jako wstępna metoda utrwalań, ponieważ otrzymany produkt o obniżonej zawartości wody nie jest stabilny i nie może być długo przechowywany. W celu zapewnienia pełnego bezpieczeństwa produktu, technologia ta łączona jest z innymi procesami takimi jak: suszenie konwekcyjne, mikrofalowe lub próżniowe oraz zamrażanie. Odpowiednie połączenie odwadniania z wymienionymi, relatywnie drogimi procesami, prowadzi do zmniejszenia zapotrzebowania na energię, a tym samym obniża całkowity koszt produkcji. Podczas odwadniania znaczna ilość wody jest usuwana z surowca bez przemiany fazowej, a proces ten nie wymaga niemal dostarczania energii z zewnątrz.

LITERATURA

- [1] **AGNELLI M.E., MARANI C.M., MASCHERONI R.H. 2005.** *Modelling of heat and mass transfer during (osmo)dehydrofreezing of fruits.* Journal of Food Engineering, 69: 415-424.
- [2] **ALLALI H., MARCHAL L., VOROBIEV E. 2009.** *Effect of Blanching by Ohmic Heating on the Osmotic Dehydration Behavior of Apple Cubes.* Drying Technology, 27(6): 739-746.
- [3] **BEKELE Y., RAMASWAMY H. 2010.** *Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings.* Ethiopian Journal of Applied Science and Technology 1(1): 1-15.
- [4] **CERKOWNIAK M., LENART A. 1999.** *Wpływ rodzaju substancji osmotycznej na zmiany temperatury i czasu suszenia konwekcyjnego jabłek.* Zeszyty Problemowe Postępów i Nauk, Politechnika Łódzka, Inżynieria Chemiczna i Procesowa, 825 (25): 9-18.
- [5] **CHIRALT A., TALENS P. 2005.** *Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues.* Journal of Food Engineering, 67: 167-177.
- [6] **DĄBROWSKA R., LENART A. 1999.** *Kinetyka odwadniania osmotycznego jabłek pokrytych błonami z pektyny niskometylowanej.* Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, 821: 19-30.
- [7] **DORNENBURG H., KNORR D. 1998.** *Monitoring the impact of high pressure processing on the biosynthesis of plant metabolites using plant cell cultures.* Trends in Food Science and Technology, 9(10): 355-361.
- [8] **ERLE U., SCHUBERT H. 2001.** *Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries.* Journal of Food Engineering, 49: 193-199.
- [9] **ESCRICHE I., CHIRALT A., MORENO J., SERRA J.A. 2000.** *Influence of blanching-osmotic dehydration treatments on volatile fraction of strawberries.* Journal of Food Science, 65: 107.
- [10] **FITO P. 1994b.** *Modelling of vacuum osmotic dehydration of food.* Journal of Food Engineering, 22: 313-328.
- [11] **GALUS S., LENART A. 2011.** *Wpływ białka i glicerolu na kinetykę adsorpcji pary wodnej przez powłoki sojowe.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, nr 1, 9-13.
- [12] **ISHIKAWA M., NARA H. 1993.** *Osmotic dehydration of food by semi permeable membrane coating.* pp. 73-77. In Singh, RP and Wirakartakusuman, MA. (eds.). Advances in Food Engineering. London: CRC Press.
- [13] **KAMIŃSKA A., LEWICKI P.P. 2006a.** *Metoda dehydrofreezing.* Chłodnictwo XLI, 10: 38-42.
- [14] **KAMIŃSKA A., LEWICKI P.P. 2006b.** *Wpływ wstępnej obróbki osmotycznej na przebieg procesów zamrażania i rozmrażania jabłek.* Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2(47): 101-107.
- [15] **KOWALSKA H., LENART A., JANOWICZ M. 2000.** *Wymiana masy w czasie odwadniania osmotycznego truskawek i wiśni.* Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej – BEMS'2000, Opole, Mechanika, 254(60): 135-142.
- [16] **KOWALSKA H., LENART A. 2001.** *Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables.* Journal of Food Engineering, 49 (2/3): 137-140.
- [17] **KOWALSKA H., LENART A. 2005.** *Zmiany struktury tkanki roślinnej wywołane odwadnianiem osmotycznym.* Inżynieria Rolnicza, 9: 187-195.

- [18] LAZARIDES H.N. 2001. *Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables*. pp. 33-42. In Fito, P, Chiralt, A, Barat, JM Spiess, WEL and Behnsilian D (eds.), *Osmotic dehydration and vacuum impregnation: Applications in food industries USA*: Technomic Publ. Co.
- [19] LI H.P., RAMASWAMY H.S. 2006. *Osmotic dehydration of apple cylinders: I. Conventional batch processing conditions*. *Drying Technology*, 24(5): 619-630.
- [20] MADYNYIAK R., LENART A. 2000. *Wpływ błon pektynowych na kinetykę odwadniania osmotycznego*. *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, Mechanika*, 60: 143-148.
- [21] MAESTRELLIA., LO SCALZO R., LUPI D., BERTOLO G., TORREGIANI D. 2001. *Partial removal of water before freezing: Cultivar and pre-treatments as quality factors of frozen muskmelons (Cucumismelo, cv reticulates Naud.)*. *Journal of Food Engineering*, 49: 255.
- [22] MATUSEK A., MERESZ P. 2002. *Modelling of sugar transfer during osmotic dehydration of carrots*. *Periodica Polytechnica. Chemical Engineering*, 1-2: 83-92.
- [23] MATUSKA M., LENART A., LAZARIDES H.N. 2006. *On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake*. *Journal of Food Engineering*, 72: 85-91.
- [24] MAVROUDIS N.E., GEKAS V., SJÖHOLM I. 1998a. *Osmotic dehydration of apples. Effects of agitation and raw material characteristics*. *Journal of Food Engineering*, 35: 191-209.
- [25] MAVROUDIS N.E., GEKAS V., SJÖHOLM I. 1998b. *Osmotic dehydration of apples. Shrinkage phenomena and the significance of the initial structure on mass transfer rates*. *Journal of Food Engineering*, 38: 101-123.
- [26] MORENO J., CHIRALT A., ESCRICHE I., SERRA J.A. 2000. *Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries*. *Food Research International*, 33: 609-616.
- [27] NSONZI F., RAMASWAMY H.S. 1998. *Quality evaluation of osmo-convective dried blueberries*. *Drying Technology*, 16(3-5): 705-723.
- [28] OGONEK A., LENART A. 2003. *Wpływ powłok jadalnych na kinetykę osmotycznego odwadniania mrożonych truskawek*. XXXIV Sesja Naukowa KTiChŻ PAN- Jakość polskiej żywności w przededniu integracji Polski i UE, Wrocław, P I 90: 151-156.
- [29] PAŁACHA Z., KAMIŃSKA A. 2001. *Wpływ wstępnej obróbki osmotycznej na przebieg procesu zamrażania jabłek*. *Chłodnictwo*, 36(3): 44-47.
- [30] PANAGIOTOU N.M., KARATHANOS V.T., MAROULIS Z.B. 1999. *Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits*. *Drying Technology*, 17: 175-189.
- [31] PIOTROWSKI D., LENART A., DOMAŃSKI J., KUBIK M. 1999. *Kinetyka suszenia osmotyczno-konwekcyjnego jabłek pokrytych błonami jadalnymi*. *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej*, 821: 113-120.
- [32] RAHMAN M.S., PERERA C.O. 2007. *Drying and Food Preservation*. pp.412. In Rahman M.S., *Handbook of food preservation*, 2nd ed., CRC Press.
- [33] RASTOGI N.K., RAGHAVARAO K. 1994. *Effect of temperature and concentration on osmotic dehydration of coconut*. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 27: 564-567.
- [34] RASTOGI N.K., RAGHAVARAO K. 1997. *Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration during osmotic dehydration*. *Journal of Food Engineering*, 34: 429-440.
- [35] RASTOGI N.K., ESHTIAGHI M.N., KNORR D. 1999. *Accelerated mass transfer during osmotic dehydration of high intensity electrical field pulse pretreated carrots*. *Journal of Food Science*, 64: 1020.
- [36] SHI J. 2008. *Osmotic Dehydration of Foods*. pp. 275-295. In Hui, YH Clary, C, Farid, MM, Fasina, OO, Noomhorm, A, Weltri-Chanes J. (eds.), *Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications*, DES tech Publications, Inc. Pennsylvania, U.S.A.
- [37] SITKIEWICZ I. 2001. *Wpływ obróbki enzymatycznej na efektywność osmotycznego odwadniania oraz właściwości mechaniczne truskawek odwadnianych osmotycznie*. XXXII Sesja Naukowa KTiChŻ PAN – Technologia żywności a oczekiwania konsumentów, Warszawa, 1-6.
- [38] SORMANI A., MAFFI D., BERTOLO G., TORREGIANI D. 1999. *Textural and structural changes of dehydrofreeze- thawed strawberry slices: effect of different dehydration pretreatments*. *Food Science and Technology International*, 5(6): 479-485.
- [39] TAIWO K.A., ESHTIAGHI M.N., ADE-OMOWAYE B.I.O., KNORR D. 2003. *Osmotic dehydration of strawberry halves: influence of osmotic agents and pretreatment methods on mass transfer and product characteristics*. *International Journal of Food Science and Technology*, 38: 693-707.
- [40] TORREGIANI D. 1993. *Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing*. *Food Research Institute*, 26: 59-68.
- [41] TORTOE C. 2010. *A review of osmodehydration for food industry*. *African Journal of Food Science*, 4(6): 303-324.