

WPLYW ODWADNIANIA OSMOTYCZNEGO POD OBNIŻONYM
CIŚNIENIEM NA PRZEBIEG SUSZENIA KONWEKCYJNEGO
TKANKI JABŁEK*

Monika Janowicz, Ewa Domian, Andrzej Lenart, Magdalena Wójcik

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności, SGGW
ul. Nowoursynowska 159c, 02-766 Warszawa
e-mail: monika_janowicz@sggw.pl

Streszczenie. Proces suszenia zmienia jakość produktów. Zmiany te można ograniczyć stosując odpowiednią obróbkę wstępną i optymalne parametry suszenia. W pracy zbadano wpływ ciśnienia zastosowanego podczas odwadniania osmotycznego (78,4, 49, 19,6 kPa), czasu odwadniania (12, 96, 180 min) oraz temperatury suszenia (55, 70, 85°C) na cechy jabłek po procesie odwadniania oraz otrzymanych suszy. Przeanalizowano wpływ badanych parametrów na ruch masy podczas odwadniania, kinetykę suszenia oraz zmiany struktury tkanki jabłek odwadnianych i suszy. Wykazano, że czas i ciśnienie odwadniania osmotycznego wpływają istotnie na kinetykę procesu odwadniania oraz na strukturę tkanki jabłek po procesie osmotycznej obróbki. Temperatura suszenia determinuje przebieg procesu suszenia oraz ma znaczący wpływ na strukturę otrzymanych suszy.

Słowa kluczowe: odwadnianie osmotyczne, obniżone ciśnienie, suszenie konwekcyjne, właściwości suszy z jabłek

WYKAZ OZNACZEŃ

- T – temperatura suszenia konwekcyjnego, (°C),
 τ – czas suszenia, (min),
 p – ciśnienie stosowane podczas odwadniania osmotycznego, (kPa)
 u – zawartość wody, (gH₂O·(g s.s.)⁻¹),
 $du \cdot (d\tau)^{-1}$ – szybkość suszenia konwekcyjnego, (g H₂O·(g s.s·min)⁻¹),
 D_f – współczynnik dyfuzji wody, (m²·s⁻¹)
 WL/SG – efektywność odwadniania osmotycznego, (-)

*Badania wykonane w ramach pracy naukowej finansowanej ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2006-2008 (projekt badawczy nr N 312 004 31/0466).

WSTĘP

Usuwanie wody z tkanki owoców na drodze suszenia zmienia znacznie ich wartość odżywczą i sensoryczną. W związku z tym poszukuje się technologii pozwalających na otrzymanie suszy o wysokich wartościach odżywczych i funkcjonalnych (Figiel 2006, Maniak i Kuna-Broniowska 2005).

Próżniowe odwadnianie osmotyczne znalazło szerokie zastosowanie przed suszeniem, zamrażaniem i smażeniem. Ciśnieniowa obróbka pozwala na modyfikowanie składu żywności, co sprzyja powstawaniu nowych produktów. W wyniku jej zastosowania otrzymuje się wyroby o wyższej jakości przy niższym zużyciu energii. Spowodowane jest to możliwością obniżenia temperatury procesu, co dodatkowo minimalizuje termiczne uszkodzenia struktury. Wstępna obróbka próżniowa skutkuje ochroną barwy, aromatu, smaku i substancji wrażliwych na działanie wysokiej temperatury w produkcie (Zhao i Xie 2004).

Próżniowe odwadnianie osmotyczne w porównaniu z atmosferycznym jest zdecydowanie krótszym procesem, podczas którego więcej ubywa wody przy niskim przyroście masy suchej substancji (Fito i in. 2001). Znaczna redukcja zawartości wody może zostać osiągnięta w niskociśnieniowym systemie (Shi i in. 1993), natomiast na przyrost substancji osmotycznej największy wpływ ma mikrostruktura żywności (Spiazzi i Mascheroni 1997). Potwierdzają to badania przeprowadzone przez Mujica-Paz i in. (2003a). Zbadali oni wpływ zastosowanego ciśnienia na zawartość wody w materiale. Stwierdzili, że im wyższe podciśnienie tym niższa objętość cieczy w próbce. Stosując ciśnienie poniżej 400 hPa usunięto praktycznie całą fazę wodną z porów struktury tkankowej.

Parametry charakteryzujące jakość i bezpieczeństwo żywności nasyconej pod atmosferycznym jak i obniżonym ciśnieniem są porównywalne lub korzystniejsze dla obróbki ciśnieniowej (Chiralt i in. 2001). Na końcową jakość produktu wpływają warunki procesu: temperatura, skład i stężenie roztworu, ciśnienie i czas jego działania, mieszanie i stosunek materiału do roztworu odwadniającego, rozmiar jak również kształt próbki oraz jej struktura (rozmiar i kształt porów) i lepkość roztworu (Gras i in. 2003).

Przebieg procesu podciśnieniowego odwadniania zależy w dużym stopniu od struktury tkanki owoców. Przyrost masy suchej substancji jabłek jest odwrotnie proporcjonalny do stężenia roztworu osmotycznego. W roztworze o niższych lepkościach jabłka są nasycone, podczas gdy wysoka lepkość utrudnia wnikanie roztworu do tkanek, co skutkuje utratą wody. Rozcieńczony roztwór łatwiej wnika w pory, a jego koncentracja utrudnia ten proces. Różnice w zachowaniu się owoców wynikają również z ich porowatości (Mujica-Paz i in 2003 a i b, Shi i in. 1995). Podczas osmotycznego odwadniania następuje załamanie struktury ścian komórkowych, co spowodowane jest utratą wody, przy jednoczesnym przyroście suchej substancji (Khin i in. 2007). Działanie ciśnienia powoduje usunięcie gazu

z tkanek, wpływając na ciśnienie wewnątrz porów, tak więc roztwór osmotyczny wnika w kapilary zgodnie z hydromechanicznym oddziaływaniem, zwiększając powierzchnię międzyfazowego kontaktu (Deng i Zhao 2008). Ciśnienie oprócz zmiany kinetyki odwadniania, zmienia strukturę produktu, jednak zależy to od sprężystości i elastyczności matrycy (Mujica-Paz i in 2003a).

Mikroskopowe badania ujawniły, że atmosferyczne odwadnianie próbek owoców powodowało skupianie się membran komórkowych, degradację ścian komórkowych i zmniejszanie odległości między komórkami. Mikroskopowa analiza tkanki owoców odwadnianych próżniowo wykazała, że jest ona podobna do struktury owoców świeżych (Rastogi i in 2000, Muntada i in 1998). Nieto i in. (2001) zauważyli, że podczas nasycania podciśnieniowego komórki stają się bardziej zaokrąglone z zachowaniem międzycząsteczkowych przestrzeni, więc odległość między komórkami nie zmniejszyła się. Natomiast badania przeprowadzone przez Barata i in. (1999) wykazały, że utrata wody skutkuje kurczeniem się błony komórkowej razem ze ścianą komórkową podczas osmotycznego odwadniania, ale stosując pulsacyjne próżniowe odwadnianie oba elementy komórki rozłączają się, a powstały prześwit komórkowy wypełnia się roztworem osmotycznym. Jednak Deng i Zhao (2008) zwracają uwagę na bardziej zauważalną deformację komórek i załamanie się struktury podczas zastosowania podciśnienia.

Celem pracy było zbadanie wpływu zmiennych parametrów odwadniania osmotycznego (czas, ciśnienie) oraz temperatury suszenia konwekcyjnego na przebieg suszenia konwekcyjnego oraz zmiany wewnątrz tkanki jabłek odwadnianych i suszonych.

Zakres pracy obejmował analizę wpływu czasu i ciśnienia odwadniania oraz temperatury suszenia na: przebieg procesu suszenia konwekcyjnego jabłek i współczynnik dyfuzji wody podczas tego procesu. Jednocześnie w ramach badań wykonano dokumentację zdjęciową obrazującą zmiany struktury tkanki jabłek powstałe na skutek procesów technologicznych.

MATERIAŁY I METODY

Materiał do badań stanowiły kostki miększu jabłek odmiany Idared, o boku 10 mm, które poddano suszeniu konwekcyjnemu po przeprowadzeniu obróbki osmotycznej w roztworze sacharozy o stężeniu 61,5% (co odpowiadało aktywności wody 0,9) w temperaturze 30°C przez czas 12, 96 i 180 minut pod ciśnieniem atmosferycznym oraz obniżonym do wartości 19,6; 49 i 78,4 kPa

W celu określenia wpływu wybranych parametrów suszenia i odwadniania osmotycznego na cechy fizyczne suszu jabłkowego przeprowadzono doświadczenie czynnikowe obejmujące 11 kombinacji ($= 2^k+3$, gdzie $k = 3$ liczba zmiennych). Rozpatrywano wpływ: temperatury suszenia konwekcyjnego T , ciśnienia p oraz czasu odwadniania osmotycznego w roztworze osmoaktywnym τ na prze-

bieg suszenia konwekcyjnego i współczynnik dyfuzji wody D_f . Określono również wpływ ciśnienia p oraz czasu odwadniania τ w roztworze sacharozy na efektywność procesu wyrażoną jako stosunek ubytków wody do przyrostów masy suchej substancji WL/SG

Poziomy zmian badanych czynników podczas doświadczenia i plan eksperymentów zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Plan eksperymentu według kodowanych zmiennych parametrów suszenia konwekcyjnego i odwadniania osmotycznego

Table 1. Experimental plan for convective drying and osmotic dehydration parameters with coded variables

Kodowane wartości zmiennych niezależnych Coded values of independent variables	Rzeczywiste wartości zmiennych niezależnych Real values of independent variables		
	T (°C)	p (kPa)	τ (min)
+1	85	78,4	180
0	70	49	96
-1	55	19,6	12
Nr eksperymentu Run number	Plan eksperymentu według kodowanych zmiennych niezależnych Experimental plan with coded form of independent variables		
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	1
3	-1	1	1
4	-1	1	-1
5	1	1	1
6	1	1	-1
7	1	-1	1
8	1	-1	-1
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

T – temperatura powietrza suszącego w komorze suszarki, p – ciśnienie stosowane podczas odwadniania osmotycznego, τ – czas działania substancji osmotycznej na tkankę jabłek przed suszeniem konwekcyjnym,

T – temperature of drying air in the dryer chamber, p – air pressure in the dryer chamber, τ – time of osmotic substance operation on apple tissue before convective drying.

Zależności pomiędzy każdą zmienną zależną Y_i (dana cecha fizyczna), a badanymi czynnikami suszenia wyrażano za pomocą równania regresji:

$$Y_i = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 \quad (1)$$

W równaniu tym za Y_i podstawiano wartości poszczególnych zmiennych zależnych, a zmienne niezależne X_1, X_2, X_3 kodowane przyjmowały wartości $-1, 0$ lub $+1$. Dane liczbowe poddano analizie statystycznej przy poziomie istotności $p = 0,05$ przy weryfikacji hipotezy: $H_0 : B_1 = B_2 = B_3 = 0$, zakładającej, że poziomy zmiennych parametrów suszenia nie wpływają w sposób istotny na wybrane właściwości odwadnianych i suszonych konwekcyjnie jabłek. Zależności pomiędzy wartościami kodowanych zmiennych X_1, X_2, X_3 a wartościami zmiennych rzeczywistych T, p, τ określają równania:

$$X_1 = (T - 70) \cdot 15^{-1} \quad (2)$$

$$X_2 = (p - 49) \cdot 29,4^{-1} \quad (3)$$

$$X_3 = (\tau - 96) \cdot 84^{-1} \quad (4)$$

Porównanie przebiegu krzywych suszenia oraz szybkości suszenia wykonano z zastosowaniem analizy wariancji jednoczynnikowej przy poziomie istotności $p = 0,05$ z zastosowaniem testu statystycznego LSD. Wszystkie analizy przeprowadzono przy użyciu programu Statgraphics Plus 4.1.

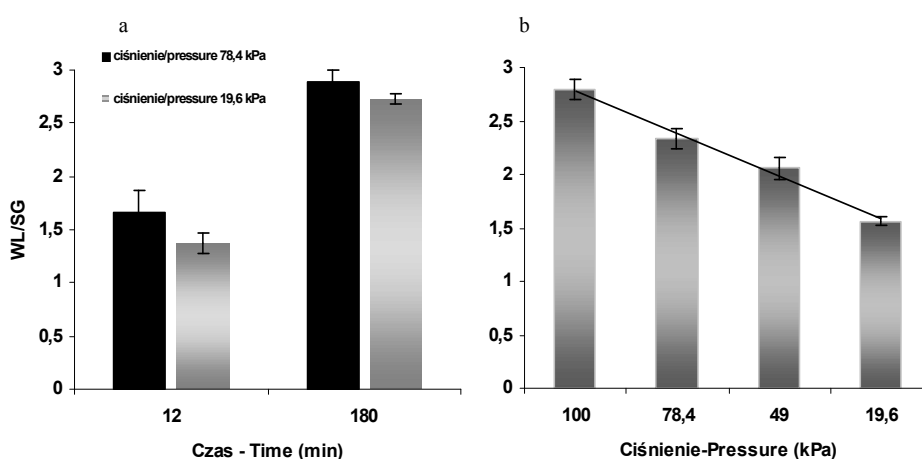
Zmiany struktury jabłek udokumentowano na zdjęciach wykonanych we współpracy z Pracownią Mikroskopii Elektronowej – Centrum Analitycznego SGGW przy użyciu elektronowego mikroskopu skaningowego FEI QUANTA 200 z mikroanalizatorem typu EDS i cyfrowym zapisem obrazu. Graficzne opracowanie oraz pomiary geometryczne komórek tkanki jabłek wykonano w programie MultiScan v. 14.02 firmy Computer Scanning System.

WYNIKI

Ruch masy (wody i substancji osmotycznej) podczas odwadniania osmotycznego pod obniżonym ciśnieniem zależy od zastosowanych parametrów procesu. Dłuższy czas skutkuje większym odwadnianiem jabłek i przyrostem suchej substancji, co spowodowane jest wnikaniem sacharozy do tkanki jabłek. Zastosowanie podczas procesu obniżonego ciśnienia intensyfikuje wnikanie sacharozy, co skutkuje zmianą właściwości gotowego suszu.

Analiza statystyczna zależności pomiędzy parametrami odwadniania, a efektywnością odwadniania WL/SG wykazała istotny wpływ zastosowanych parametrów obróbki osmotycznej na przebieg i intensywność procesu. Wydłużając czas odwadniania otrzymuje się produkt o mniejszej zawartości wody i większym przyroście substancji odwadniającej. Wartość ubytku wody (WL) po 12 minuto-

wym odwadnianiu wynosi około 13%, a 15-krotne wydłużenie czasu odwadniania skutkuje 35% ubytkiem wody. Jednocześnie zmiana długości czasu odwadniania z 12 do 180 minut powoduje przyrost suchej masy (SG) podczas procesu o 25%. Efektem tych zmian jest około dwukrotny wzrost efektywności odwadniania wyrażony jako WL/SG, który jest niezależny od zastosowanego ciśnienia (rys. 1a). Potwierdzają to badania przeprowadzone przez Kolawole i in. (2007) na tkance arbuza. Zbadali oni kinetykę procesu odwadniania prowadzonego przez 12 godzin. Pierwsze 2 godziny procesu charakteryzowały się największym przyrostem suchej masy i ubytkiem wody. Kowalska i Lenart (2001) wykazali, że podczas odwadniania osmotycznego owoców występuje złożona wymiana masy powodująca obniżenie zawartości wody przy jednoczesnym przyroście masy suchej substancji oraz dodatkowo zmiana składu chemicznego odwadnianej żywności. Wykazano, że czas odwadniania jest jednym z najbardziej znaczących parametrów wpływających na przyrost suchej substancji (Torreggiani i Bertolt 2001).



Rys. 1. Efektywność odwadniania osmotycznego jabłek WL/SG: a) wpływ czasu, b) wpływ ciśnienia
Fig. 1. Efficiency of osmotic dehydration of apples WL/SG: a) influence of time, b) influence of pressure

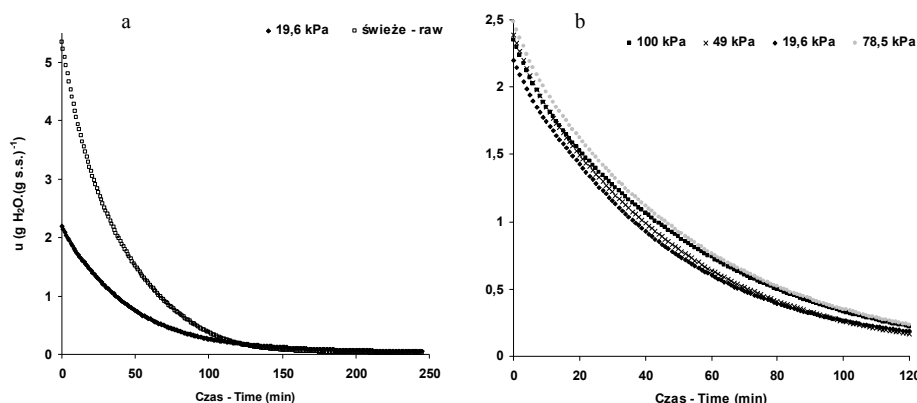
Obniżone ciśnienie podczas procesu odwadniania skutkuje wzrostem przyrostu masy. Zmiana ciśnienia odwadniania ze 78,4 do 19,6 kPa powoduje zwiększenie przyrostu masy o 20%. Zastosowanie ciśnienia 78,4 kPa skutkuje niewielką różnicą w przyroście suchej masy w stosunku do ciśnienia atmosferycznego jednocześnie efektywność procesu odwadniania osmotycznego jest mniejsza (rys. 1b). Gonzalez i in. (1999) oraz Matusek i in. (2008) stosując obniżone ciśnienie podczas odwadniania także uzyskali większy przyrost masy substancji odwadniającej podczas procesu. Znaczny ubytek wody i przyrost suchej substancji podczas odwadniania jabłek w podciśnieniu potwierdzają badania przeprowa-

dzone przez Deng i Zhao (2008). Różnica w transporcie masy podczas obróbki osmotycznej próżniowej w stosunku do obróbki pod ciśnieniem atmosferycznym wynikać może ze zmian struktury tkanki inicjowanych działaniem ciśnienia. Przyrost masy jest korzystniejszy, gdy ubytek wody jest większy. Mechanizm zmiany stosunku faz gaz-ciecz podczas obróbki ciśnieniowej w porównaniu do atmosferycznej powoduje większy przyrost masy przy jednoczesnym mniejszym względnym ubytku wody. Znaczny przyrost masy i ubytek wody w krótkim czasie jest zgodny z hydrodynamicznym mechanizmem spowodowanym różnicami ciśnień w kapilarach. Na przyrost masy może też mieć wpływ lepkość i stężenie roztworu odwadniającego, od którego w znacznym stopniu zależy efektywność procesu – stopień odwodnienia próbki i penetracji matrycy przez roztwór osmotyczny (Giraldo i in. 2003). Również Fito (1994) potwierdza wzrost szybkości transportu masy podczas działania obniżonego ciśnienia w stosunku do ciśnienia atmosferycznego. Zwiększenie powierzchni kontaktu międzyfazowego w wyniku usunięcia powietrza z tkanek roślinnych i jego zastąpienia substancją odwadniającą skutkuje ogólnym wzrostem ruchu masy (Fito i Pasteur 1994).

Analizę przebiegu wpływu ciśnienia odwadniania na suszenie konwekcyjne jabłek przeprowadzono na podstawie zmian zawartości wody w funkcji czasu suszenia. Na wykresach umieszczono również jako krzywe odniesienia, zmiany zawartości wody jabłek bez wstępnego odwadniania osmotycznego (rys. 2). Zastosowanie obróbki osmotycznej znacznie zmienia przebieg krzywych suszenia. Wskazuje na to różna zawartości wody w próbkach na początku procesu. Początkowa zawartość wody w jabłkach surowych wynosiła $5,3 \text{ g H}_2\text{O} \cdot (\text{g s.s.})^{-1}$ (rys. 2a), a w próbkach odwadnianych osmotycznie zawierała się w granicach $2,1\text{-}2,5 \text{ g H}_2\text{O} \cdot (\text{g s.s.})^{-1}$ (rys. 2b). Wpływ początkowej zawartości wody jest bardzo istotny w czasie od 0 do 100 minut procesu suszenia. Stwierdzono ponad 2-krotne skrócenie czasu suszenia jabłek odwadnianych w stosunku do świeżych pozwalające na osiągnięcie przez susz $1,5 \text{ g H}_2\text{O} \cdot (\text{g s.s.})^{-1}$. Wykazano, że odwadnianie osmotyczne podnosi wartość równowagowej zawartości wody w jabłkach, do której suszy się materiał w porównaniu z jabłkami nie poddanymi obróbce wstępnej o 60 – 260% w zależności od zastosowanego ciśnienia odwadniania (rys. 2). Równowagowa zawartość wody w suszach wstępnie odwadnianych osmotycznie wynosiła $0,027\text{-}0,044 \text{ g H}_2\text{O} \cdot (\text{g s.s.})^{-1}$, a dla suszu jabłkowego otrzymanego bez obróbki osmotycznej $0,017 \text{ g H}_2\text{O} \cdot (\text{g s.s.})^{-1}$. Wpływ obróbki osmotycznej na proces suszenia konwekcyjnego potwierdziły badania przeprowadzone przez Janowicz i Lenarta (2001a i b). Wykazali oni, że proces odwadniania, zastosowany przed suszeniem, zmienia warunki wymiany masy w czasie suszenia konwekcyjnego, a uzyskany susz charakteryzuje się wyższymi równowagowymi zawartościami wody.

Analiza statystyczna przebiegu krzywych suszenia w zależności od zastosowanego ciśnienia podczas odwadniania z zastosowaniem analizy wariancji jedno-

czynnikiem przy poziomie istotności 0,05 wykazała istotne statystycznie różnice w przebiegu krzywych. Zawartość wody w próbkach po procesie odwadniania przeprowadzonym pod różnym ciśnieniem wynosiła od 2,19 do 2,48 g H₂O·(g s.s.)⁻¹ (rys. 2b). Jabłka odwadniane pod ciśnieniem 19,6 i 49 kPa oraz suszone konwekcyjnie przez 80 minut zawierały około 0,40 g H₂O·(g s.s.)⁻¹, a odwodnione pod ciśnieniem 100 kPa i 78,4 kPa i suszone w tych samych warunkach – 0,52 g H₂O·(g s.s.)⁻¹. Po tym samym czasie suszenia konwekcyjnego jabłek wstępnie odwadnianych w różnych warunkach ciśnienia, niższą zawartością wody charakteryzują się jabłka odwadniane pod niższym ciśnieniem w całym zakresie krzywych suszenia.

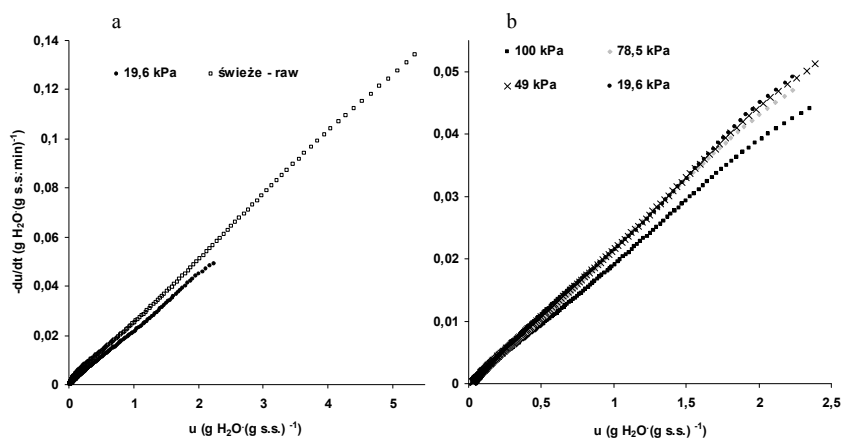


Rys. 2. Krzywe suszenia konwekcyjnego jabłek: a) wpływ odwadniania osmotycznego pod obniżonym ciśnieniem, b) wpływ wartości ciśnienia zastosowanego podczas odwadniania osmotycznego

Fig. 2. Curves of convective drying of apples: a) influence of osmotic dehydration under lower pressure, b) influence of pressure values used during osmotic dehydration

Analiza jednoczynnikowa wariancji ($p = 0,05$) wykazała istotne statystycznie różnice w przebiegu krzywych szybkości suszenia. Stwierdzono jednocześnie spadek szybkości suszenia, materiału odwadnianego pod ciśnieniem atmosferycznym, w momencie osiągnięcia przez jabłka wilgotności 2 g H₂O·(g s.s.)⁻¹, o 25% w stosunku do materiału świeżego (rys. 3a). Potwierdzają to badania przeprowadzone na tkance jabłek (Janowicz i Lenart 2001a), w których wykazano, że wstępne odwadnianie osmotyczne zmniejsza szybkość suszenia konwekcyjnego w porównaniu do suszenia materiału nie poddawanego wstępnej obróbce.

Niskociśnieniowa obróbka osmotyczna powoduje wzrost szybkości suszenia w stosunku do próbek odwadnianych pod ciśnieniem atmosferycznym (rys. 3b). Szybkość suszenia jabłek odwadnianych pod ciśnieniem atmosferycznym przy zawartości wody w suszonych jabłkach 2 g H₂O·(g s.s.)⁻¹ wynosiła 0,04 g H₂O·(g s.s.·min.)⁻¹, a odwadnianych pod ciśnieniem obniżonym około 0,046 g H₂O·(g s.s.·min.)⁻¹.



Rys. 3. Krzywe szybkości suszenia konwekcyjnego jabłek: a) wpływ odwadniania osmotycznego pod obniżonym ciśnieniem, b) wpływ wartości ciśnienia zastosowanego podczas odwadniania osmotycznego

Fig. 3. Curves of drying rate of apples: a) influence of osmotic dehydration under lower pressure, b) influence of pressure values used during osmotic dehydration

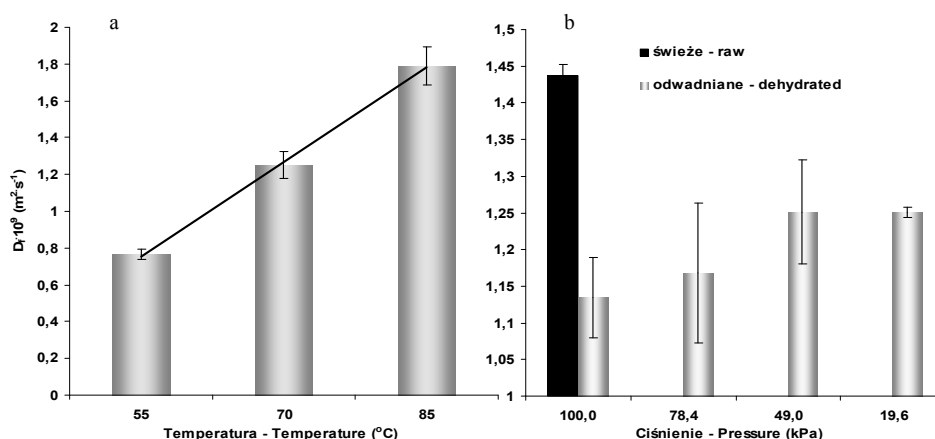
Warunkiem przebiegu suszenia materiału jest powstanie różnicy potencjałów wilgotności, która powoduje dyfuzję wody z głębszych warstw tkanki jabłek do powierzchni. Współczynnik dyfuzji wody świadczy o szybkości ruchu wody w materiale. Wyznaczenie współczynnika dyfuzji wody w procesie suszenia w pośredni sposób umożliwia określenie wpływu parametrów odwadniania osmotycznego i temperatury suszenia na przebieg suszenia konwekcyjnego (Janowicz i Lenart 2001a).

Wartość współczynnika dyfuzji (D_f) w czasie suszenia jest w sposób statystycznie istotny zależna od temperatury suszenia. Jednocześnie przeprowadzona analiza otrzymanych wyników nie wykazała istotnego wpływu ciśnienia zastosowanego podczas odwadniania na wartość D_f (rys. 4).

Proces suszenia przeprowadzony w temperaturze 85°C charakteryzuje się ponad 2-krotnie wyższym współczynnikiem dyfuzji w porównaniu do suszenia w 55°C (rys. 4a). Zastosowanie wyższej temperatury suszenia konwekcyjnego skutkuje wzrostem wartości współczynnika dyfuzji wody charakteryzującego proces (Kaya i in. 2007).

Suszenie jabłek nie poddawanych wstępnej obróbce charakteryzuje się wyższym współczynnikiem dyfuzji wody, co świadczy o większej szybkości przenikania wody z warstw głębszych produktu ku powierzchni (rys. 4b). Zastosowanie obróbki osmotycznej zmniejsza wartość współczynnika dyfuzji ponad dwukrotnie. Znaczne obniżenie wartości współczynnika dyfuzji po zastosowaniu odwadniania osmotycznego otrzymali również Nieto i in. (2001). Wykazano niższy współczynnik dyfuzji wody dla jabłek odwadnianych w porównaniu do owoców

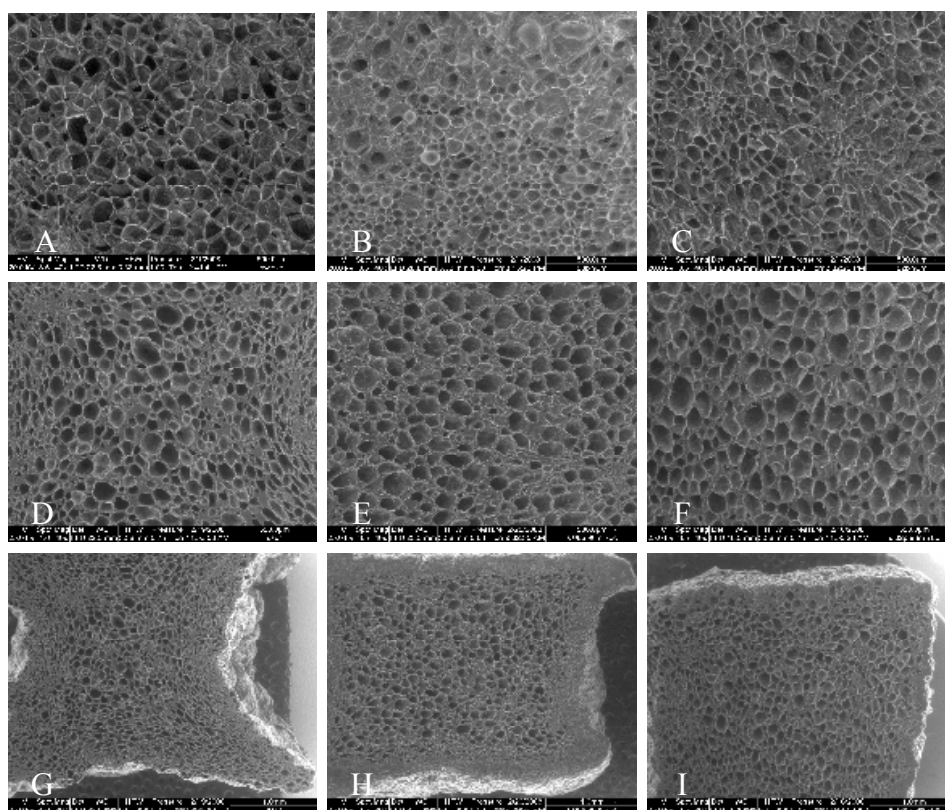
nie poddanych temu procesowi. Największy wpływ za zmianę wartości współczynnika dyfuzji ma czas działania substancji osmotycznej na rozdrobnione jabłko, co tłumaczone jest wzrostem stopnia odwodnienia materiału. Stopień odwodnienia ma największy wpływ na współczynnik dyfuzji w zestawieniu z temperaturą procesu odwadniania i rodzajem zastosowanej substancji osmotycznej (Janowicz i Lenart 2001b).



Rys. 4. Zmiany współczynnika dyfuzji wody podczas suszenia konwekcyjnego jabłek: a) wpływ temperatury suszenia, b) wpływ ciśnienia zastosowanego podczas odwadniania osmotycznego
Fig. 4. Changes of the diffusion coefficient of water during convective drying of apples: a) influence of drying temperature b) influence of pressure during osmotic dehydration

Owadnianie osmotyczne pod obniżonym ciśnieniem intensyfikuje przepływ kapilarny i korzystnie wpływa na szybkość transportu masy. Ułatwia większy przyrost suchej substancji (Mujica-Paz i in. 2003 a i b, Taiwo i in. 2003). Struktura próbki odwadnianej pod obniżonym ciśnieniem jest bardziej zwarta w stosunku do materiału świeżego jak i odwadnianego w warunkach atmosferycznych. Mikroskopowe badania ujawniły, że proces ten powoduje skupianie się membran komórkowych, degradację ścian komórkowych i zmniejszenie odległości między komórkami (Zhao i Xie 2004). Zmiany tego typu widoczne są również na zdjęciach wykonanych w niniejszej pracy (rys. 5). Wzrost zawartości sacharozy oraz obniżanie ciśnienia odwadniania znacznie zmieniają wewnętrzną geometrię jabłek. Wpływa to na zachowanie się oraz wygląd tkanki owoców zarówno po wstępnej obróbce osmotycznej jak i po procesie suszenia konwekcyjnego. Mauro i in. (2002) zbadali efekt wpływu roztworu sacharozy na komórkową strukturę ziemniaka (27°C). Wykazano, że przedłużenie działania osmotycznego odwadniania prowadzi do degradacji struktury. Natomiast Deng i Zhao (2008) zwracają

uwagę na bardziej zauważalną deformację komórek i załamanie się struktury podczas zastosowania podciśnienia w czasie obróbki osmotycznej.



Rys. 5. Struktura wewnętrzna jabłek. Powiększenie 40 razy: A) świeże, B) odwadniane pod ciśnieniem 78,4 kPa, C) odwadniane pod ciśnieniem 19,6 kPa, D) świeże suszone konwekcyjnie, E) odwadniane pod ciśnieniem 78,4 kPa i suszone konwekcyjnie, F) odwadniane pod ciśnieniem 19,6 kPa i suszone konwekcyjnie. Powiększenie 20 razy: G) świeże suszone konwekcyjnie, H) odwadniane pod ciśnieniem 78,4 kPa i suszone konwekcyjnie, I) odwadniane pod ciśnieniem 19,6 kPa i suszone konwekcyjnie

Fig. 5. Internal structure of apples. Magnification x40: A) raw, B) dehydrated under pressure of 78.4 kPa, C) dehydrated under pressure of 19.6 kPa, D) raw, convective dried, E) dehydrated under pressure of 78.4 kPa and convective dried, F) dehydrated under pressure of 19.6 kPa and convective dried. Magnification x20: G) raw, convective dried, H) dehydrated under pressure of 78.4 kPa and convective dried, I) dehydrated under pressure of 19.6 kPa and convective dried

WNIOSKI

1. Czas i ciśnienie odwadniania osmotycznego tkanki jabłek istotnie wpływają na przebieg i intensywność tego procesu. Wydłużenie czasu odwadniania

pozwała na otrzymanie produktu o mniejszej zawartości wody i większym przyroście substancji odwadniającej. Efektem tych zmian jest około dwukrotny wzrost efektywności odwadniania. Obniżenie ciśnienia w badanym przedziale skutkuje zmianą efektywności odwadniania osmotycznego tkanki jabłek w zakresie 15-45%.

2. Przebieg suszenia osmotyczno - konwekcyjnego zależy w głównej mierze od temperatury powietrza suszącego. Zastosowanie wyższej temperatury w czasie suszenia skraca czas procesu, zwiększa szybkość suszenia i wartość współczynnika dyfuzji wody. Niezależnie od czasu odwadniania i zastosowanego ciśnienia podczas osmotycznej obróbki, proces odwadniania zmienia przebieg suszenia wydłużając czas suszenia, zmniejszając szybkość suszenia i wartość współczynnika dyfuzji wody. Obniżone ciśnienie skutkuje przebiegiem suszenia w zakresie wyższych szybkości.

3. Odwadnianie osmotyczne inicjuje zmiany w strukturze tkanki jabłek zarówno odwadnianych jak i suszonych konwekcyjnie, które intensyfikują się wraz z obniżaniem ciśnienia zastosowanego podczas obróbki osmotycznej.

PIŚMIENNICTWO

- Barat J.M., Albors A., Chiralt A., Fito P., 1999. Equilibration of apple tissue in osmotic dehydration: Microstructural changes. *Drying Technology*, 17, 1375-1386.
- Chiralt A., Fito P., Barat J.M., Andres A., Gonzalez-Martinez C., Escriche I., Camacho M.M., 2001. Use of vacuum impregnation in food salting process. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 141-151.
- Deng Y., Zhao Y., 2008. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). *Journal of Food Engineering*, 85(1), 84-93.
- Figiel A. 2006. Drying kinetics and drying shrinkage of garlic subjected to vacuum-microwave dehydration. *Acta Agrophysica*, 7(1), 49-58.
- Fito P., 1994. Modeling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering*, 22, 313-328.
- Fito P., Pasteur R., 1994. Non-diffusion mechanism occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 21, 513-519.
- Fito P., Chiralt A., Barat J. M., Andres A., Martinez-Monzo J., Martinez-Navarrete N., 2001. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 29-302.
- Giraldo G., Talens P., Fito P., Chiralt A., 2003. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*, 58(1), 33-43.
- Gonzalez Ch., Fuentes C., Andres A., Chiralt A., Fito P., 1999. Effectiveness of vacuum impregnation brining of Manchego-type curd. *International Dairy Journal*, 9(2), 143-148.
- Gras M.L., Vidal D., Betoret N., Chiralt A., Fito P., 2003. Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, 56(2-3), 279-284.
- Janowicz M., Lenart A., 2001a. Wpływ odwadniania osmotycznego na przebieg suszenia konwekcyjnego jabłek – część 1. Wymiana masy i ciepła. *Inżynieria Rolnicza*, 12(32), 89-100.

- Janowicz M., Lenart A., 2001b. Wpływ odwadniania osmotycznego na przebieg suszenia konwekcyjnego jabłek – część 2. Zmiany właściwości fizycznych. *Inżynieria Rolnicza*, 12(32), 101-108.
- Kaya A., Aydın O., Demirtas C., 2007. Drying kinetics of red delicious apple. *Biosystems Engineering*, 96 (4), 517-524.
- Khin M.M., Zhou W., Perera C.O., 2007. Impact of process conditions and coatings on the dehydration efficiency and cellular structure of apple tissue during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 817-827.
- Kolawole O.F., Joseph C.I., Funke A.A., 2007. Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 979-985.
- Kowalska H., Lenart A. 2001. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables, *Journal of Food Engineering*, 49(2/3), 137-140.
- Maniak B., Kuna-Broniowska I., 2005. Badanie wpływu powłok jadalnych zawierających chitozan na barwę suszu jabłkowego. *Acta Agrophysica* 6(3), 715-727.
- Matusek A., Czukur B., Merez P., Orsi F., 2008. Comparison of diffusion of fructo-oligosaccharide components during vacuum impregnation and osmotic dehydration. *European Food Research and Technology*, 227(2), 417-423.
- Mauro, M.A., Tavares D.Q., Menegalli F.C. 2002. Behavior of plant tissue in osmotic solutions. *Journal of Food Engineering*, 56(1), 1-15.
- Mujica-Paz A., Valdez-Fragoso A., Lopez-Malo A., Palou E., Welti-Chanes J., 2003a. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration, *Journal of Food Engineering*, 57(4), 305-314.
- Mujica-Paz H., Valdez-Fragoso A., Lopez-Malo A., Palou E., Welti-Chanes J., 2003b. Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure. *Journal of Food Engineering*, 56(4), 307-314.
- Muntada V., Gerschenson L.N., Alzamora S.M., Castro, M.A., 1998. Solute infusion effects on texture of minimally processed kiwifruit. *Journal of Food Science*, 63, 616-620.
- Nieto A., Castro M., Alzamora S., 2001. Kinetics of moisture transfer during air drying of blanché and/or osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, 50(3), 175-185.
- Rastogi N. K., Angersbach A., Knorr, D., 2000. Evaluation of mass transfer mechanisms during osmotic treatment of plant materials. *Journal of Food Science*, 65, 838-841.
- Shi X. Q., Fito P., 1993. Vacuum osmotic dehydration of fruits. *Drying Technology*, 11, 1429-1442.
- Shi X., Fito P., Chiralt A., 1995. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Food Research International*, 28(5), 445-454.
- Spiazzi E., Mascheroni R., 1997. Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables - I. Development of the simulation model. *Journal of Food Engineering*, 34(4), 387-410.
- Taiwo K., Eshtiaghi M., Ade-Omowaye B., 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.
- Torreggiani D., Bertolt G., 2001. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49(1-2), 247-253.
- Zhao Y., Xie J., 2004. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15(9), 434-451.

EFFECT OF PRESSURE DURING OSMOTIC DEHYDRATION
ON THE COURSE OF CONVECTIVE DRYING OF APPLE TISSUE

Monika Janowicz, Ewa Domian, Andrzej Lenart, Magdalena Wójcik

Department of Food Engineering and Process Management, Warsaw Agricultural University
ul. Nowoursynowska 159c, 02-766 Warszawa
email: monika_janowicz@sggw.pl

Abstract. The process of drying has an influence on the quality of the products. The changes can be limited through the application of pretreatment and optimal drying parameters. In this study, the effect of pressure during osmotic dehydration (78.4, 49, 19.6 kPa), its application time (12, 96, 180 min.) and air temperature during drying (55, 70, 85°C) on the properties of dehydrated and osmo-convective dried cubes of apple tissue were evaluated. The mass transfer during dehydration, air-drying kinetics and changes in internal structure of osmo-dehydrated and dried apple were investigated. The time and pressure of osmotic dehydration affected significantly the kinetics of dehydration and the structure of osmo-dehydrated apples. The air temperature determined the drying process and also significantly affected the structure of dried apples.

Keywords: osmotic dehydration, vacuum pressure, convection drying