

MONIKA JANOWICZ, KATARZYNA ŚREDZIŃSKA

WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI SUSZONYCH KONWEKCYJNIE JABŁEK WSTĘPNIE ODWADNIANYCH OSMOTYCZNIE W WARUNKACH ZMIENNEGO CIŚNIENIA

Streszczenie

Podjęto próbę określenia wpływu rodzaju substancji osmotycznej oraz ciśnienia, zastosowanych podczas obróbki wstępnej, na zmiany zachodzące w tkance jabłek odwadnianych osmotycznie i suszonych konwekcyjnie. Zaobserwowano, że efektywność procesu odwadniania oraz charakter zmian zależą od zastosowanego ciśnienia i rodzaju substancji. W przypadku jabłek wstępnie odwadnianych osmotycznie nastąpiło zmniejszenie szybkości usuwania wody w czasie suszenia konwekcyjnego, w całym badanym zakresie zmienności zawartości wody. Stwierdzono, że jabłka odwadniane pod obniżonym ciśnieniem, niezależnie od rodzaju substancji osmotycznej, w efekcie suszenia konwekcyjnego osiągają mniejszą końcową zawartość wody, a jednocześnie charakteryzują się wyższymi jej aktywnościami w porównaniu z jabłkami odwadnianymi w warunkach ciśnienia atmosferycznego. Zastosowanie odwadniania osmotycznego pod obniżonym ciśnieniem powoduje znaczne przyrosty masy suchej substancji, co wpływa na większą zawartość cukrów w tkance jabłek i w efekcie zmienia przebieg suszenia konwekcyjnego. Wartość współczynnika dyfuzji wody w jabłkach suszonych konwekcyjnie wstępnie odwadnianych osmotycznie zależy zarówno od ciśnienia, jak i od rodzaju substancji osmotycznej.

Słowa kluczowe: jabłka, suszenie konwekcyjne, odwadnianie osmotyczne, obniżone ciśnienie

Wprowadzenie

W przetwórstwie spożywczym wykorzystuje się różne metody mające na celu ograniczenie niekorzystnych przemian i oddziaływań środowiska zewnętrznego na trwałość żywności, polegające na zmniejszeniu w niej zawartości wody. Przeprowadzone badania dowodzą, że zastosowanie odpowiedniej metody oraz wstępne przygotowanie surowca wpływają na mechanizm wymiany ciepła i masy, zmieniając dynamikę procesu usuwania wody na drodze procesów technologicznych, takich jak na przykład suszenie osmotyczno-konwekcyjne [4, 5, 6].

Dr inż. M. Janowicz, mgr inż. K. Średzińska, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa

Nieściśliwość wody znajdującej się w tkance roślinnej w połączeniu z obróbką osmotyczną w warunkach podwyższonego lub obniżonego ciśnienia umożliwia ruch składników roztworu hipertonicznego oraz soku komórkowego w przestrzeni tkankowej na skutek porowatej struktury, jaką miał materiał biologiczny [8, 9]. Odwadnianie osmotyczne pod obniżonym ciśnieniem umożliwia stosowanie niższej temperatury w celu uzyskania lepszego efektu odwadniania w porównaniu z odwadnianiem osmotycznym w warunkach ciśnienia atmosferycznego [1, 2].

Obecność w tkance roślinnej wnikającego roztworu osmotycznego może powodować zmiany właściwości chemicznych, fizycznych oraz sensorycznych. Ze względu na te zmiany do procesu odwadniania używa się różnych roztworów cukrów np. glukozy, fruktozy, sacharozy, syropu skrobiowego, miodu naturalnego oraz sztucznego, syropów owocowych, chlorku sodu, chlorku wapnia. Stosowanie różnych roztworów pozwala między innymi na regulowanie kaloryczności uzyskanego gotowego produktu, jakim w wielu przypadkach może być susz owocowy. Jednocześnie zmiana wielkości cząsteczek cukrów może wpływać na warunki wymiany ciepła i masy podczas prowadzenia procesu suszenia [3, 4, 6].

Celem pracy było określenie wpływu zmiennych warunków odwadniania osmotycznego (rodzaju substancji, ciśnienia) na przebieg suszenia konwekcyjne jabłek. Zakres pracy obejmował również analizę wpływu rodzaju substancji osmoaktywnej oraz ciśnienia, stosowanych w procesie odwadniania osmotycznego, na zmiany zachodzące w tkance jabłek wywołane procesem odwadniania i następnie suszenia konwekcyjnego.

Materiały i metody badań

Materiał do badań stanowiły jabłka odmiany Idared rozdrobione w kostki sześciennie o boku 10 mm. Odwadnianie osmotyczne przeprowadzano pod ciśnieniem atmosferycznym (0,1 MPa) i obniżonym do wartości 0,058 MPa, w temp. 25 °C. Odwadnianie pod obniżonym ciśnieniem prowadzono w komorze próżniowej (typ SPT 200 firmy Horyzont) z teoretyczną możliwością regulacji podciśnienia w zakresie od – 0,01 do 0,1 MPa oraz temperatury od 0 do 250 °C. W czasie procesu odwadniania osmotycznego kostki z jabłek zabezpieczano przed wypływaniem na powierzchnię roztworu specjalnie przygotowanymi siatkami.

Stężenia roztworów osmotycznych dobrano w taki sposób, aby aktywność wody tych roztworów wynosiła 0,9 – roztwór glukozy i fruktozy 49 %, roztwór sacharozy oraz mieszaninę glukozy i fruktozy (1:1) 61 %. Czas procesu odwadniania osmotycznego w warunkach ciśnienia atmosferycznego i obniżonego dobrano tak, aby końcowa zawartość wody wynosiła około 3 g H₂O/g s.s.

Proces suszenia konwekcyjnego prowadzono w suszarce laboratoryjnej z wymuszonym przepływem powietrza 1,5 m/s w temp. około 70 °C. Otrzymany susz przechowywano do dalszych oznaczeń przez 24 h.

Pomiar aktywności wody prowadzono w aparacie firmy Rotronic model Hygroskop DT w temp. 25 °C zgodnie z procedurą zalecaną przez producenta. Oznaczenie zawartości sacharydów w suszach wykonywano metodą DNS [13]. W metodzie wykorzystuje się właściwości redukujące sacharydów, które w środowisku zasadowym redukują grupy nitrowe kwasu 3,5-dinitrosalicylowego do grup aminowych, a same utleniają się. Cukry, które nie mają właściwości redukujących oznacza się po ich uprzedniej hydrolizie. Badania przeprowadzono w dwóch powtórzeniach.

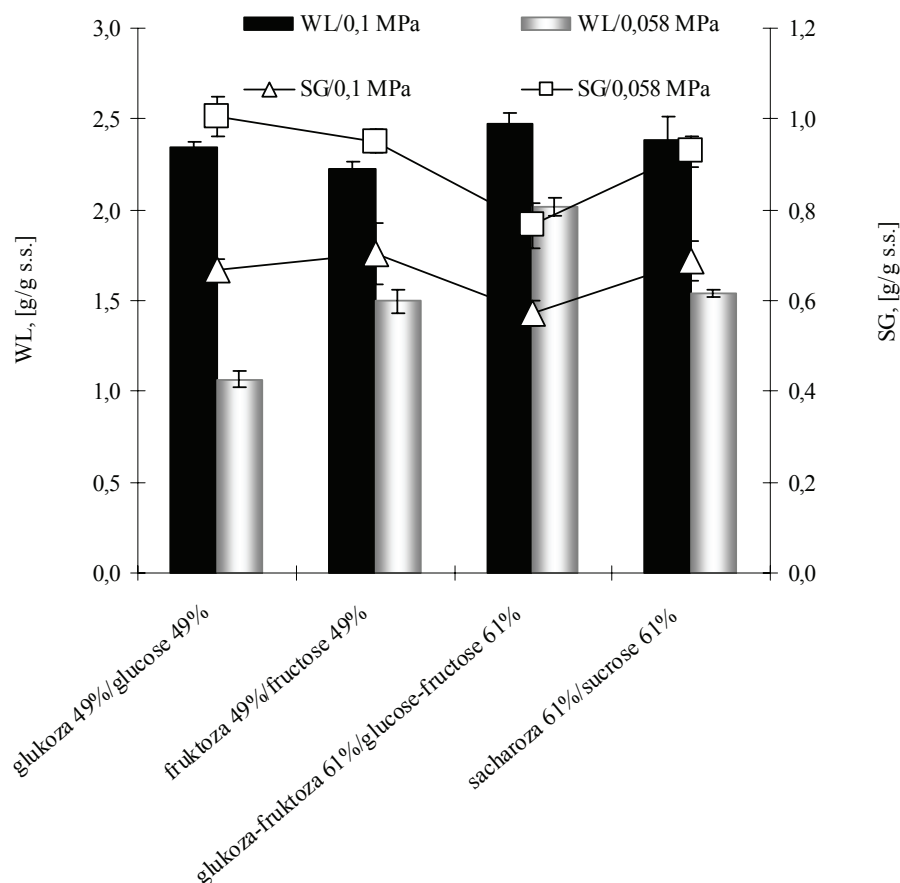
Analizę statystyczną wykonano przy użyciu programu komputerowego Statistica 7.0 na podstawie analizy wariancji z wykorzystaniem tablicy sumarycznej ANOVA. W celu dokonania analizy porównawczej otrzymanych wyników badań i ich wzajemnych relacji przeprowadzono test NIR przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Odwadnianie osmotyczne jest procesem złożonym, przebiegającym z jednoczesnym usuwaniem wody z tkanki roślinnej i wnikaniem na jej miejsce z zewnątrz substancji osmoaktywnej. Charakter przebiegu procesu zostaje zachowany bez względu na panujące ciśnienie, a intensywność wymiany masy podczas odwadniania jabłek jest od nich istotnie zależna (rys. 1). Zaobserwowano, że podczas odwadniania osmotycznego pod ciśnieniem atmosferycznym ubytki wody WL w jabłkach były wyższe niż uzyskane w materiale odwadnianym pod obniżonym ciśnieniem bez względu na rodzaj zastosowanej substancji osmotycznej. Zakres zmian ubytków wody w jabłkach odwadnianych pod ciśnieniem atmosferycznym waha się w granicach 2,22 - 2,47 g H₂O/g s.s., natomiast w jabłkach odwadnianych pod obniżonym ciśnieniem w granicach 1,07 - 2,01 g H₂O/g s.s. (rys. 1). Wykazano statystycznie istotne różnice pod względem ilości usuniętej wody (WL) z jabłek podczas odwadniania osmotycznego pod ciśnieniem 0,1 MPa pomiędzy roztworami glukozy i fruktozy oraz roztworami fruktozy i sacharozy. Zastosowanie roztworów fruktozy i sacharozy do odwadniania jabłek pod obniżonym ciśnieniem nie spowodowało istotnej różnicy pod względem ilości usuniętej z nich wody, natomiast pozostałe użyte w czasie wstępnej obróbki roztwory spowodowały istotne zmiany zawartości wody w jabłkach.

Średnie przyrosty masy suchej substancji SG wahały się w granicach 0,57 - 1,1 g/g s.s. w zależności od rodzaju substancji osmoaktywnej, a zakres zmian SG zależał od ciśnienia zastosowanego podczas procesu odwadniania (rys. 1). Zaobserwowano, że przyrosty masy suchej substancji w jabłkach odwadnianych osmotycznie w warunkach obniżonego ciśnienia były większe w porównaniu z odwadnianymi pod ciśnieniem atmosferycznym od około 30 do ponad 55 % i zależały istotnie od rodzaju

substancji osmotycznej (rys. 1). Odwadnianie w roztworach o stężeniu 49 % spowodowało największe przyrosty masy suchej substancji niezależnie od ciśnienia, pod jakim prowadzony był proces. Przyrosty masy suchej substancji pod ciśnieniem atmosferycznym były mniej zróżnicowane niż otrzymane w wyniku odwadniania pod zredukowanym ciśnieniem.

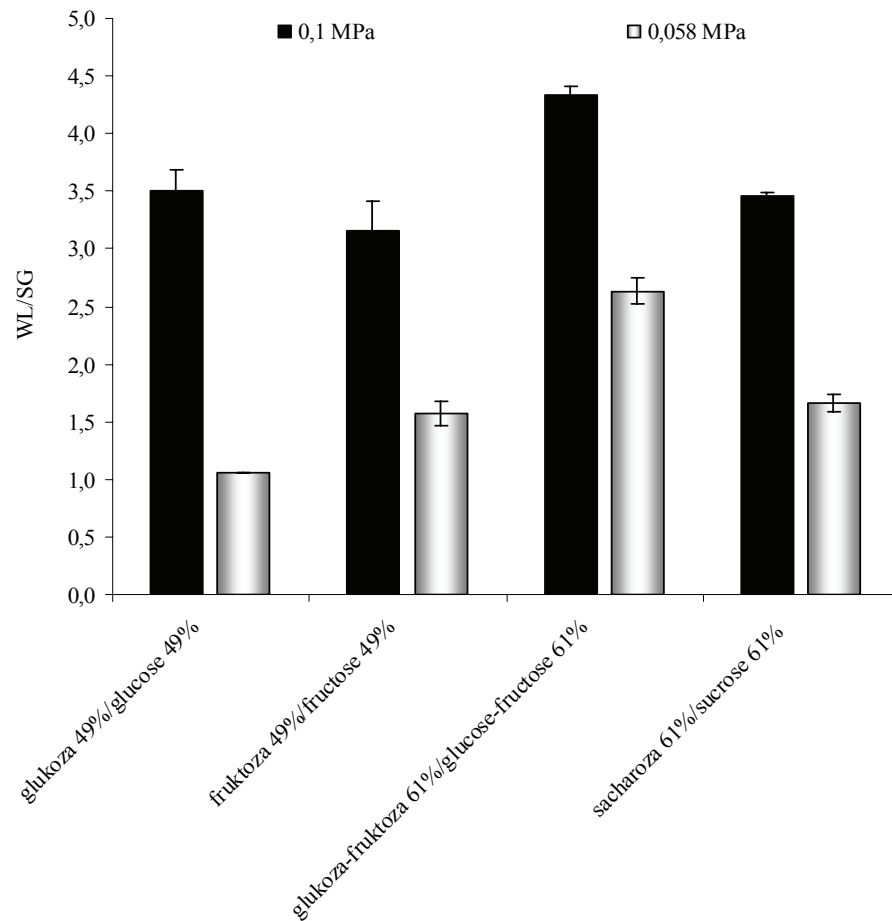


Rys. 1. Wpływ rodzaju substancji osmoaktywnej oraz ciśnienia na ubytki wody (WL) i przyrosty masy suchej substancji (SG) w jabłkach odwadnianych osmotycznie.

Fig. 1. Effect of the kind of osmotically active substance and pressure on water losses (WL) and solid gain (SG) in dehydrated apples.

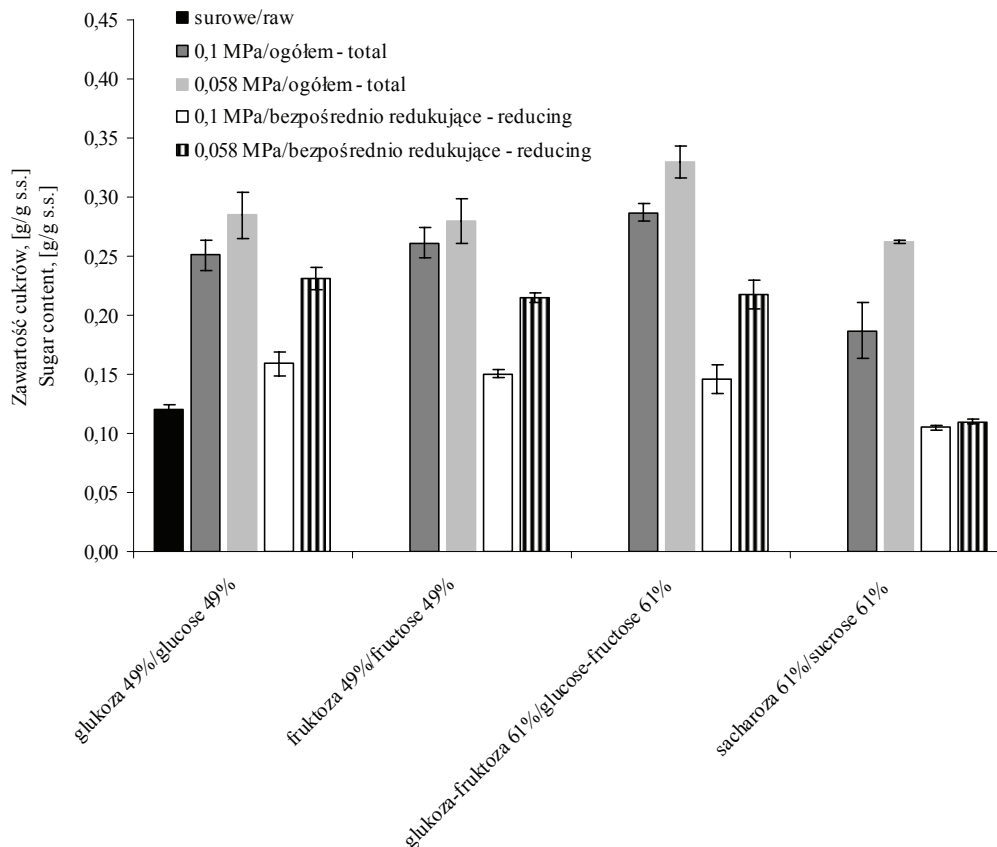
Badania Kowalskiej i Lenarta [7], prowadzone nad odwadnianiem osmotycznym tkanki jabłek, dyni i marchwi, potwierdzają otrzymane przez autorki niniejszej pracy zależności i pozwalają na stwierdzenie, że zakres oraz ilość usuniętej wody i wchłoniętej do tkanki substancji osmotycznej zależały nie tylko od rodzaju materiału, ale przede wszystkim od parametrów procesu odwadniania (rodzaj substancji, ciśnienie). W dal-

szych badaniach Kowalska i Lenart [6] wykazali, że odwadnianie jabłek w roztworach cukrów o mniejszej masie cząsteczkowej powoduje otrzymanie wyższych przyrostów masy suchej substancji, co jest tłumaczone znaczną porowatością tkanki jabłek, wynoszącą około 20 %. Obniżenie ciśnienia w czasie odwadniania osmotycznego powoduje usunięcie z materiału nie tylko wody, ale w pierwszym rzędzie powietrza, a podczas powrotu do ciśnienia atmosferycznego następuje wniknięcie w wolne przestrzenie roztworu. Podobnie Sitkiewicz i Kozłowski [12] otrzymali w wyniku zastosowania do odwadniania obniżonego ciśnienia mniejszą zawartość wody w jabłkach, co jest efektem zwiększenia przyrostu masy suchej substancji i w konsekwencji zwiększenia wydajności odwadniania.



Rys. 2. Efektywność procesu odwadniania osmotycznego wyrażona jako stosunek ubytków wody (WL) do przyrostów masy suchej substancji (SG).

Fig. 2. Efficiency of the osmotic dehydration process expressed as a ratio of water losses (WL) to solid gains (SG).



Rys. 3. Wpływ rodzaju substancji osmoaktywnej oraz ciśnienia na zawartości cukrów w jabłkach odwadnianych osmotycznie.

Fig. 3. Effect of the kind of osmotically active substance and pressure on the content of sugar in dehydrated apples.

Efektywność procesu odwadniania osmotycznego istotnie zależała od ciśnienia, pod którym prowadzony był proces (rys. 2). W zależności od rodzaju substancji zastosowanej do odwadniania jabłek pod obniżonym ciśnieniem, efektywność procesu była niższa od około 38 do ponad 69 % w porównaniu z odwadnianiem prowadzonym w warunkach ciśnienia atmosferycznego. Zaobserwowano większy wpływ obniżonego ciśnienia na efektywność procesu podczas odwadniania jabłek z zastosowaniem roztworu glukozy i roztworu fruktozy. Jednocześnie, odwadnianie w roztworach o większym stężeniu (61 %) spowodowało większe wartości stosunku ubytku wody do przyrostu masy suchej substancji niezależnie od ciśnienia, pod jakim prowadzony był proces. Wartości ubytków wody do przyrostów masy suchej substancji otrzymane w wyniku odwadniania osmotycznego z zastosowaniem różnych substancji osmotycznych pod ciśnieniem atmosferycznym

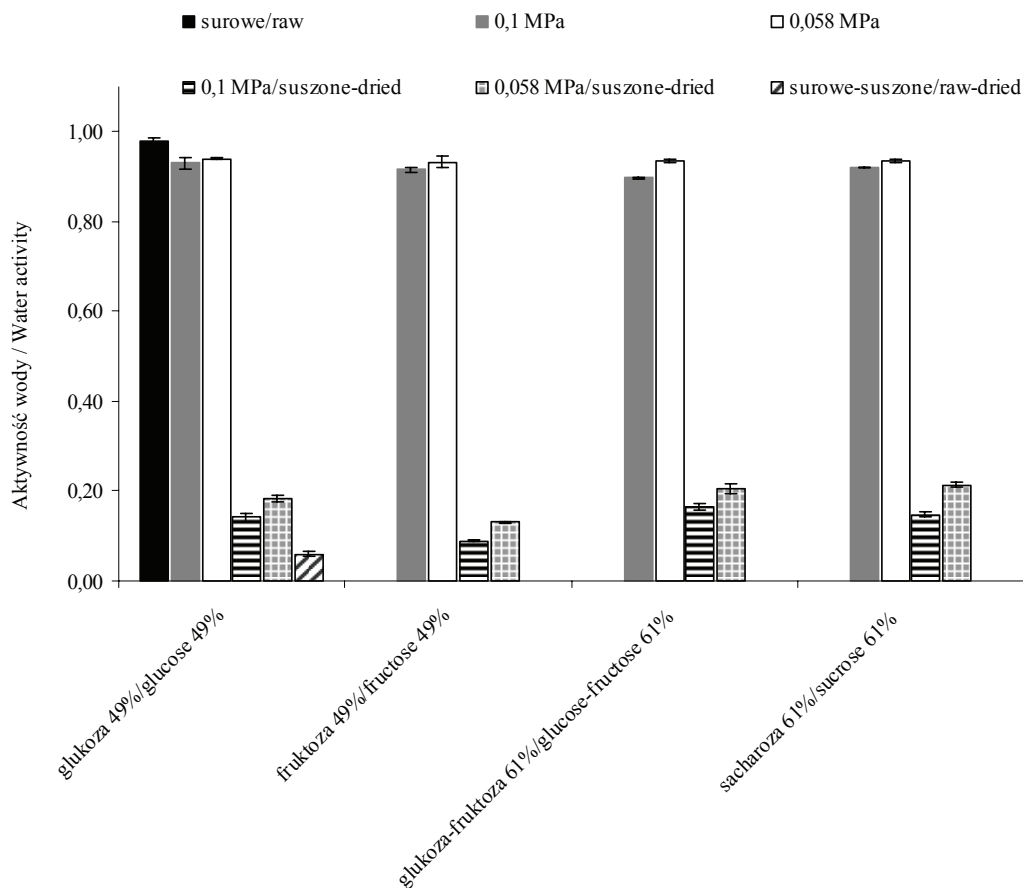
rycznym były mniej zróżnicowane niż w wyniku odwadniania pod zredukowanym ciśnieniem. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że efektywność procesu odwadniania osmotycznego (WL/SG) zależała od zastosowanego ciśnienia. Wyższą efektywność uzyskano w wyniku zastosowania ciśnienia atmosferycznego.

Surowe jabłka zawierały około 0,12 g/g s.s. cukrów bezpośrednio redukujących i około 0,10 g/g s.s. cukrów ogółem. W wyniku procesu odwadniania osmotycznego w różnych warunkach ciśnienia z zastosowaniem różnych substancji osmotycznych zawartość cukrów w jabłkach istotnie wzrosła (rys. 3). Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że na zawartość cukrów bezpośrednio redukujących i ogółem w jabłkach wpłynęła zarówno wysokość ciśnienia stosowanego podczas odwadniania osmotycznego, jak i rodzaj zastosowanej substancji osmotycznej. Analiza wariancji wykazała, że istotny wpływ na zawartość cukrów w jabłkach tak odwadnianych, jak i suszonych miał roztwór sacharozy zastosowany podczas odwadniania osmotycznego bez względu na ciśnienie stosowane w czasie obróbki.

Podobnie Piotrowski i wsp. [11] stwierdzili, że na skutek odwadniania osmotycznego następuje wzrost zawartości cukrów bezpośrednio redukujących w odwadnianych owocach. Jednocześnie zaobserwowali, że zakres tych zmian zależy od parametrów odwadniania, a przede wszystkim od rodzaju odwadnianej tkanki roślinnej.

Aktywność wody w jabłkach surowych wynosiła około 0,980. W wyniku zastosowania procesów obróbki wstępnej obniżyła się do poziomu w granicach 0,898 - 0,940 w zależności od zastosowanych parametrów odwadniania osmotycznego (rodzaj substancji osmoaktywnej, ciśnienie) (rys. 4). Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że rodzaj substancji osmoaktywnej nie wpłynął istotnie na aktywność wody jabłek odwadnianych. Stwierdzono natomiast istotny wpływ ciśnienia, pod jakim prowadzono proces odwadniania osmotycznego, na aktywność wody jabłek, a zakres zmian zależał od rodzaju substancji osmotycznej. Wyższe wartości aktywności wody otrzymano w jabłkach odwadnianych pod obniżonym ciśnieniem. W zależności od rodzaju zastosowanej substancji osmotycznej aktywność wody w jabłkach odwadnianych pod obniżonym ciśnieniem była wyższa od około 1 do ponad 4 %. Jednocześnie, największy wpływ obniżonego ciśnienia na aktywność wody podczas odwadniania stwierdzono w jabłkach poddanych działaniu roztworu będącego mieszaniną glukozy i fruktozy oraz roztworu sacharozy.

Aktywność wody jest jednym z ważniejszych czynników wpływających na stabilność przechowalniczą żywności. Poniżej wartości $a_w = 0,6$ mogą zachodzić niepożądane zmiany (strukturalne, reakcje enzymatyczne, nieenzymatyczne, oksydacja). Przebieg tych procesów zależy również od temperatury i zawartości wody. Wartości krytyczne są charakterystyczne dla określonego rodzaju żywności i zależą od jej składu chemicznego. Reakcje nieenzymatycznego brązowienia zachodzą najlepiej przy aktywności wody w zakresie 0,3 - 0,7 [9, 10].



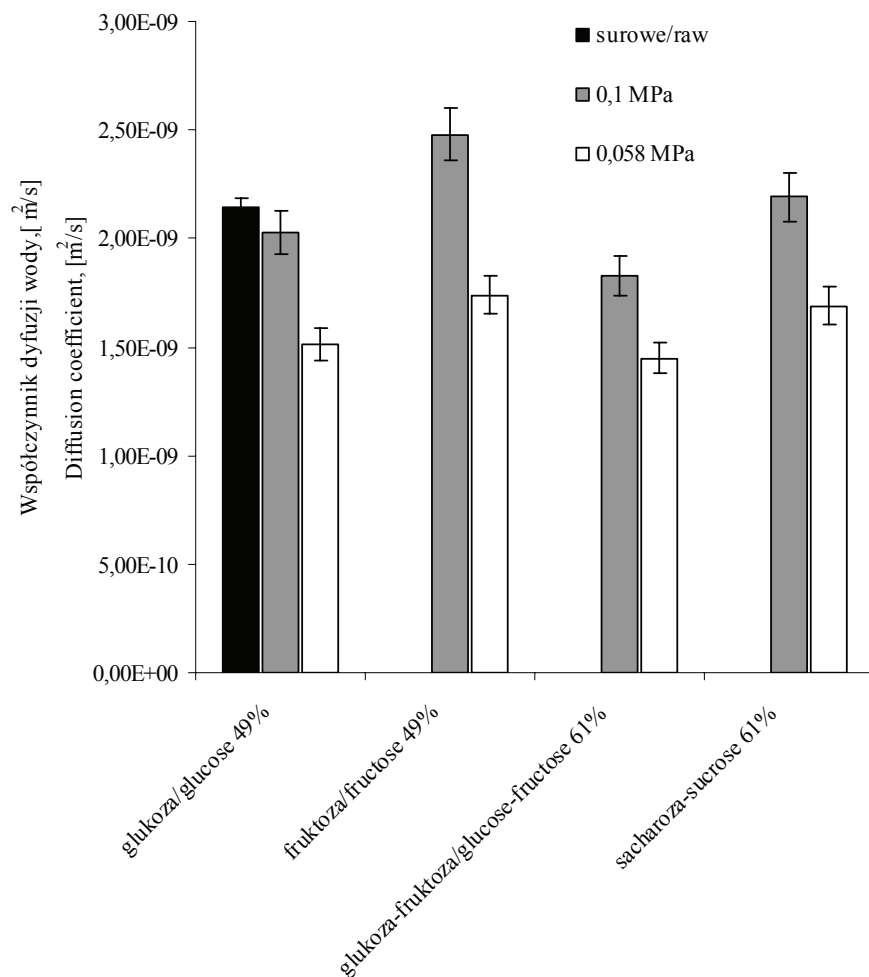
Rys. 4. Wpływ rodzaju substancji osmoaktywnej oraz ciśnienia na aktywność wody jabłek.

Fig. 4. Effect of the kind of osmotically active substance and pressure on water activity of apples.

Poziom aktywności wody otrzymany w jabłkach, wynikający z zastosowania procesu odwadniania osmotycznego, nie zapewnia mikrobiologicznej stabilności otrzymanego produktu. Dlatego w celu przedłużania trwałości jabłek, na skutek znacznego obniżenia aktywności wody, poddano je suszeniu konwekcyjnemu. Zahamowanie zmian enzymatycznych, a zwłaszcza nieenzymatycznych, wymaga zwykle zmniejszenia zawartości wody do około 5 %. Optymalna zawartość wody w produkcie wpływa na czas jego przechowywania przez ograniczenie niepożądanych reakcji [8, 10].

Jabłka niepoddane obróbce osmotycznej po suszeniu konwekcyjnym charakteryzowały się aktywnością wody na poziomie około 0,060 (rys. 4). Zaobserwowano, że zastosowanie odwadniania osmotycznego bez względu na parametry (rodzaj substancji, ciśnienie) wpływa na podwyższenie aktywności wody od około 1,5 do ponad 3,5

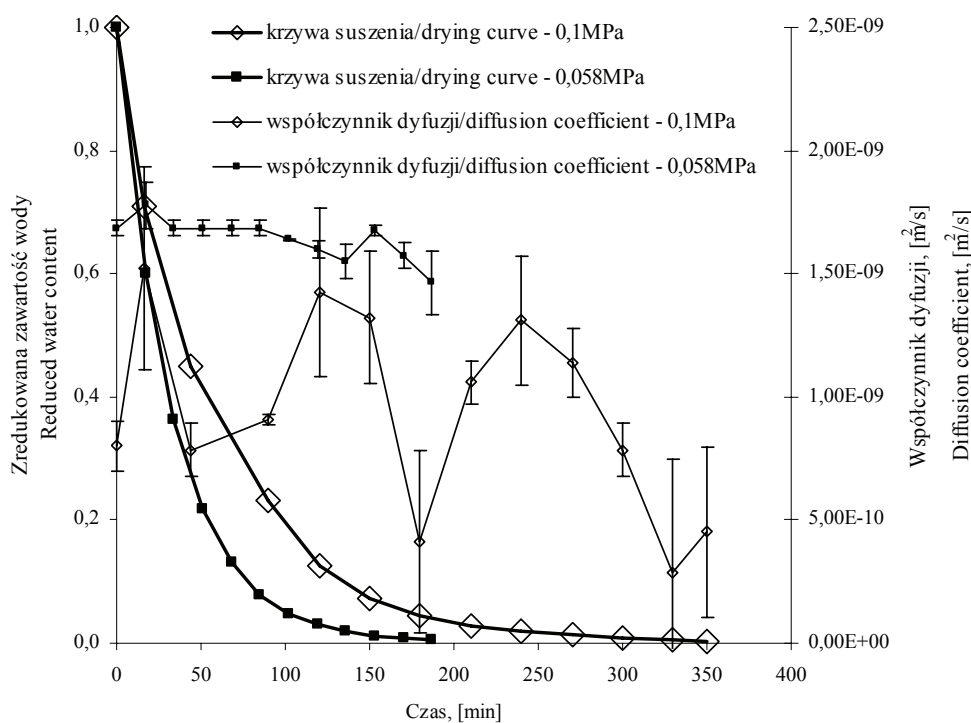
razy w jabłkach suszonych konwekcyjnie. W wyniku suszenia konwekcyjnego jabłek, wstępnie odwadnianych w zmiennych warunkach ciśnienia, aktywność wody wahała się w granicach 0,090 - 0,215 (rys. 4). Taka aktywność wody zapewnia trwałość żywności. Aktywność wody na poziomie poniżej 0,6 zapobiega rozwojowi mikroorganizmów, a przy wartości poniżej 0,2 reakcje nieenzymatycznego brunatnienia nie zachodzą, co chroni produkt przed niepożądaną zmianą barwy [8, 9, 10]. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że na wartość aktywności wody w suszach z jabłek



Rys. 5. Wartości umownego współczynnika dyfuzji wody jabłek suszonych konwekcyjnie wstępnie odwadnianych osmotycznie w zmiennych warunkach ciśnienia.

Fig. 5. Values of the conventional water diffusion coefficient of convectively dried apples after they have been osmotically dehydrated under the varying pressure conditions.

odwadnianych wstępnie w zmiennych warunkach ciśnienia wpłynął rodzaj zastosowanego roztworu odwadniającego. Jednocześnie stwierdzono istotny wpływ zastosowania roztworu fruktozy, podczas wstępnego odwadniania jabłek, pod obniżonym ciśnieniem na aktywność wody suszu otrzymanego konwekcyjnie. W badaniach stwierdzono, że aktywność wody w suszach z jabłek wstępnie odwadnianych pod obniżonym ciśnieniem była wyższa od około 24 do ponad 45 % od aktywności wody w suszach, które otrzymano z jabłek wstępnie odwodnionych osmotycznie pod ciśnieniem atmosferycznym. Jednocześnie, większy wpływ obniżonego ciśnienia na aktywność wody podczas odwadniania stwierdzono w przypadku jabłek poddanych działaniu roztworu glukozy i roztworu fruktozy.



Rys. 6. Zmiany współczynnika dyfuzji wody w czasie suszenia jabłek wstępnie odwadnianych osmotycznie w zmiennych warunkach ciśnienia w roztworze sacharozy.

Fig. 6. Changes in the diffusion coefficient of water occurring while drying apples after their osmotic dehydrating pre-treatment under the varying pressure conditions in the sucrose solution.

Rozpoczęcie procesów dyfuzyjnych jest charakterystyczne dla drugiego okresu suszenia. Szybkość usuwania wody w tym okresie maleje, co spowodowane jest rosnącymi oporami dyfuzji masy z jednoczesnym przeciwkierunkowym transportem ciepła

dostarczanego do wnętrza materiału. Czas suszenia zależy od efektywnej drogi transportu masy z wnętrza do powierzchni materiału suszonego [3, 4]. Janowicz i Lenart [3] wykazali istotny wpływ odwadniania osmotycznego jabłek na przebieg krzywych suszarniczych bez względu na zastosowaną temperaturę procesu. Czas odwadniania osmotycznego wpływa na wartość średniego umownego współczynnika dyfuzji wody w jabłkach podczas suszenia konwekcyjnego. Wartość współczynnika dyfuzji wody w jabłkach suszonych konwekcyjnie wstępnie odwadnianych osmotycznie zależy zarówno od ciśnienia, jak i od rodzaju substancji osmoaktywnej. Obniżenie ciśnienia podczas odwadniania osmotycznego spowodowało zmniejszenie współczynnika dyfuzji wody w jabłkach suszonych konwekcyjnie niezależnie od rodzaju zastosowanej substancji osmoaktywnej. Obecność fruktozy i sacharozy w tkance jabłek determinowała wartości współczynnika dyfuzji wody podczas suszenia konwekcyjnego (rys. 5). Zmienne ciśnienie podczas odwadniania osmotycznego wpłynęło istotnie na wartość zarówno średniego (wyznaczonego dla całego przebiegu krzywej suszenia), jak i wyznaczonego w przedziałach zredukowanej zawartości wody, współczynnika dyfuzji (rys. 6).

Wnioski

1. Jabłka odwadniane pod obniżonym ciśnieniem charakteryzowały się mniejszymi ubytkami wody oraz większymi przyrostami masy suchej substancji niż odwadniane w warunkach ciśnienia atmosferycznego bez względu na rodzaj zastosowanej substancji osmotycznej. Jednocześnie efektywność procesu odwadniania oraz charakter jej zmian zależą od zastosowanego ciśnienia i rodzaju substancji. Najlepszy efekt usuwania wody z jabłek w wyniku odwadniania osmotycznego uzyskuje się stosując jako substancję osmotyczną roztwór sacharozy, jak i roztwór będący mieszaniną glukozy i fruktozy. Roztwory o stężeniu 61 % pozwalają otrzymać duży ubytek wody przy niewielkim przyroście masy suchej substancji.
2. Zastosowanie odwadniania osmotycznego, niezależnie od ciśnienia pod jakim prowadzono proces, spowodowało w jabłkach wzrost zawartości cukrów ogółem i bezpośrednio redukujących z wyjątkiem materiału odwadnianego wstępnie w roztworze sacharozy. Wielkość i zakres zmian zawartości cukrów zależał od rodzaju roztworu osmotycznego.
3. Aktywność wody jabłek obniżyła się na skutek odwadniania osmotycznego niezależnie od rodzaju zastosowanej substancji osmoaktywnej i ciśnienia procesu, jak i suszenia konwekcyjnego. Wykazano istotny wpływ ciśnienia, pod jakim prowadzono proces odwadniania osmotycznego, na aktywność wody zarówno jabłek odwadnianych, jak i suszonych konwekcyjnie po tym procesie.
4. Wartość współczynnika dyfuzji wody w jabłkach suszonych konwekcyjnie wstępnie odwadnianych osmotycznie zależy zarówno od ciśnienia, jak i od rodzaju sub-

stancji osmoaktywnej zastosowanej w procesie wstępnej obróbki. Obniżenie ciśnienia podczas odwadniania osmotycznego powoduje również obniżenie współczynnika dyfuzji wody w jabłkach suszonych konwekcyjnie niezależnie od rodzaju zastosowanej substancji osmoaktywnej. Zmiany ciśnienia pod jakim odbywa się proces odwadniania osmotycznego jabłek wpływają istotnie na wartość współczynnika dyfuzji wody wyznaczonego dla całego przebiegu krzywej suszenia, jak i wyznaczonego w przedziałach zredukowanej zawartości wody. Obecność fruktozy i sacharozy w tkance jabłek odwadnianych pod ciśnieniem atmosferycznym podwyższa wartości współczynnika dyfuzji wody podczas suszenia konwekcyjnego.

Badania wykonane w ramach pracy naukowej finansowanej ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2006-2008 (projekt badawczy nr N312 004 31/0466). Praca była prezentowana podczas I Sympozjum Żywności z okazji 30-lecia powołania specjalizacji Inżynieria Żywności na Wydziale Nauk o Żywności SGGW, Warszawa, 5 - 6 czerwca 2008 r.

Literatura

- [1] Barat J.M., Chiralt A., Fito P.: Effects of osmotic concentration temperature and vacuum impregnation pretreatment on osmotic dehydration kinetics of apple slices. *Food Sci. Technol. Inter.*, 2001, **7** (5), 451-456.
- [2] Fito P., Chiralt A., Betoret N., Gras M., Chafer M., Martinez-Monzo J., Andres A., Vidal D.: Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development. *J. Food Eng.*, 2001, **49**, 175-183.
- [3] Janowicz M., Lenart A.: Wpływ wstępnego odwadniania osmotycznego na współczynnik dyfuzji wody w tkance jabłek suszonych konwekcyjnie. *Inż. Roln.*, 2005, **11** (71), 191-200.
- [4] Janowicz M., Lenart A.: Znaczenie suszenia owoców i warzyw. *Post. Techn. Przetw. Spoż.*, 2003, **1**, 28-32.
- [5] Jayaraman K.S., Das Gupta D.K.: Drying of Fruits and Vegetables. *Handbook of Industrial Drying. Part 3*, eds. Mujumdar A.S., Dekker M., New York 2006, pp. 606-631.
- [6] Kowalska H., Lenart A.: Znaczenie wymiany masy w tworzeniu żywności nowej generacji. *Post. Techn. Przetw. Spoż.* 2003, **2**, 12-17.
- [7] Kowalska H., Lenart A.: Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *J. Food Eng.* 2001, **49**, 137-140.
- [8] Lewicki P.P., Lenart A.: Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables. *Handbook of Industrial Drying, Part 3*, eds. Mujumdar A.S., Dekker M., New York 2006, pp. 665-681.
- [9] Lewicki P.P.: Water as the determinant of food engineering properties. A review. *J. Food Eng.* 2004, **61** (4), 483-495.
- [10] Pałacha Z.: Aktywność wody ważny parametr trwałości żywności. *Przem. Spoż.* 2008, **4**, 22-27.
- [11] Piotrowski D., Lenart A., Pomarańska-Lazuka W.: Ocena jakości owoców pestkowych poddanych odwadnianiu osmotycznemu. *Inż. Roln.* 2002, **5**, 249-257.
- [12] Sikiewicz I., Kozłowski M.: Effects of pressure and osmotic solution on efficiency of osmotic dehydration of apples. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 2001, **10/51**, 4, 45-47.

- [13] Toczko M., Grzelińska A.: Materiały do ćwiczeń z biochemii. Wyd. SGGW, Warszawa 1997, ss. 38-41.

SOME SELECTED PROPERTIES OF CONVECTIVELY DRIED APPLES WITH OSMOTIC PRE-TREATMENT UNDER VARYING PRESSURE CONDITIONS

S u m m a r y

In this paper, it was attempted to determine the effect of the kind of osmotic substance and pressure as applied during the pre-treatment on changes in the tissue of osmotically dehydrated and convectively dried apples. It was found that the efficiency of the dehydration process and the character of changes depended on the pressure and kind of osmotic substance applied. In the case of apples osmotically dehydrated (pre-treatment), next, when they were convectively dried, the rate of removing water from them decreased in the entire range of variability of water content studied. It was found that, after the completed convectional drying of apples dehydrated under a lower pressure, the final water content in those apples was lower regardless of the kind of osmotic substance. At the same time, those apples are characterized by higher water activity levels compared to the apples dehydrated under the atmospheric pressure conditions. Osmotic dehydration under the lower pressure caused a considerable increase in the solid gains; this fact caused the content of sugars in the tissue of apples to increase and the course of convection drying to change. The diffusion coefficient of water in osmo-convectively dried apples depended both on the pressure and on the kind of osmotic substance.

Key words: apples, convective drying, osmotic dehydration, low pressure ☒