

## **RUCH WODY I SUBSTANCJI ROZPUSZCZONYCH W JABŁKACH ODWADNIANYCH OSMOTYCZNIE**

Hanna Kowalska, Andrzej Lenart

**Streszczenie.** Na proces odwadniania osmotycznego jabłek ma wpływ czas przechowywania surowca, wstępna obróbka termiczna, rodzaj substancji osmotycznej oraz temperatura procesu. Odwadnianie osmotyczne po dłuższym czasie przechowywania przebiega intensywniej ze względu na nieco rozluźnioną strukturę. Zastosowanie roztworu sacharozy w porównaniu z roztworem syropu skrobiowego przyczyniło się do uzyskania około dwukrotnie większego przyrostu masy suchej substancji i większego obniżenia zawartości wody w badanych jabłkach. Wzrost temperatury procesu oraz zastosowanie wstępnej obróbki termicznej wpłynęło korzystnie na odwadnianie jabłek.

**Słowa kluczowe:** czas przechowywania, substancje osmotyczne, blanszowanie, tkanka roślinna

### **WSTĘP**

Ważnym zadaniem przemysłu spożywczego jest utrwalenie żywności za pomocą takich metod, aby ograniczyć zmiany właściwości chemicznych, fizycznych i biologicznych produktu występujące w czasie jego ogrzewania. Istotne jest również dążenie w kierunku otrzymania produktów o pożądanych właściwościach organoleptycznych. Na uwagę zasługuje tu odwadnianie osmotyczne, które jest procesem polegającym na wstępnym utrwaleniu żywności o budowie komórkowej poprzez usunięcie części wody występującej w surowcu w postaci wody niezwiązanej [Kowalska i Lenart 2000].

Stopień odwodnienia surowca oraz zmiany jego składu chemicznego zależą od stężenia i rodzaju substancji osmotycznej, rodzaju i stopnia rozdrobnienia surowca, stosunku masy odwadnianego surowca względem roztworu osmotycznego, temperatury i czasu odwadniania oraz sposobu prowadzenia procesu [Kowalska i Lenart 2001]. Na odwadnianie osmotyczne ma wpływ rodzaj surowca i jego skład chemiczny. Dlatego istotne jest znalezienie optymalnych warunków odwadniania odrębnie dla każdego rodzaju surowca [Alzamora 2000].

Odwadnianie osmotyczne przy użyciu różnych substancji osmotycznych przebiega w sposób zależny od ich masy cząsteczkowej. Przy tych samych stężeniach wysokoczą-

steczkowe substancje wywołują niższe ciśnienie osmotyczne, a tym samym początkowa szybkość usuwania wody jest mniejsza niż przy substancjach o niższych masach cząsteczkowych. Jednocześnie w przypadku substancji wysokocząsteczkowych obserwuje się ich mniejsze wnikanie do wnętrza materiału [Lazarides 1995].

Istotny wpływ na szybkość odwadniania oraz właściwości produktu końcowego ma temperatura. Wraz z jej wzrostem, przy malejącej lepkości środowiska i towarzyszącym zmianom fizykochemicznym, proces usuwania wody przebiega z większą intensywnością. Zbyt wysokie temperatury powodują zmiany termiczne materiału, np. straty składników odżywczych, zmiany barwy i struktury [Alvarez 1995, Lewicki i in. 1998].

Zmieniona w niewielkim stopniu w czasie odwadniania osmotycznego struktura i obniżona zawartość wody przedłużają trwałość produktu, poprawiają jego jakość i umożliwiają zastosowanie dalszej obróbki [Lazarides 2000].

Celem pracy jest analiza kinetyki odwadniania osmotycznego jabłek.

W zakresie pracy ujęto wpływ czasu przechowywania, wstępnej obróbki termicznej, rodzaju substancji osmotycznej oraz temperatury na przebieg odwadniania osmotycznego jabłek.

## METODY

Badania prowadzono na jabłkach odmiany 'Idared' w postaci kostek o boku 10 mm. Materiał przeznaczony do eksperymentów przechowywany był w temperaturze 5°C, przy wilgotności powietrza 80–90%.

Obróbka termiczna (blansowanie) prowadzona była w wodzie o temperaturze 80°C w czasie 3 min przy stosunku masy surowca do masy wody 1:5.

Owadnianie osmotyczne jabłek przeprowadzono w roztworach cukrów różniących się masą cząsteczkową, tzn. w sacharozie i syropie skrobiowym. Do badań zastosowano roztwory o stężeniu odpowiadającym 0,9 aktywności wody w temperaturze 30°C. Odwadnianie osmotyczne prowadzono przy częstotliwości wibracji 100 obr/min, w łaźni wodnej zapewniającej ruch roztworu. Czas odwadniania zmieniano w zakresie 0–3 h. Proces prowadzony był w temperaturach 30, 50 oraz 80°C. Stosowano przynajmniej trzykrotne powtórzenia badań w tych samych warunkach. Ponadto niektóre eksperymenty powtarzano w pewnych odstępach czasu w celu określenia wpływu przechowywania jabłek na proces odwadniania osmotycznego. Analizę wyników przeprowadzono dla początkowego przebiegu procesu odwadniania osmotycznego jabłek, tzn. w zakresie od 0 do 45 minut.

W czasie prowadzonych badań oznaczano zmiany masy próbki oraz zawartość suchej substancji.

Do opisu procesów technologicznych korzystano z następujących wielkości i równań matematycznych:

- ubytek masy próbki (mass loss – ML), %
- zawartość wody w przeliczeniu na masę suchej substancji (water content on dry mater – WC), gH<sub>2</sub>O/g d.m.

$$WC = A + B \cdot \text{EXP}^{-\tau/C}$$

gdzie: A, B, C – parametry równania,  $\tau$  – czas, min

– ubytek wody w przeliczeniu na początkową masę suchej substancji (water loss on initial dry mater – WL), gH<sub>2</sub>O/g i.d.m.

$$WL = A \cdot (1 - \text{EXP}^{-\tau/B})$$

gdzie: A, B – parametry równania,  $\tau$  – czas, min

– przyrost masy suchej substancji w przeliczeniu na początkową masę suchej substancji (solid gain on initial dry mater – SG), g/g i.d.m.

$$SG = A \cdot (1 - \text{EXP}^{-\tau/B})$$

gdzie: A, B – parametry równania,  $\tau$  – czas, min,

Wyniki opracowano statystycznie, przeprowadzając jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA) i weryfikację hipotez przy zastosowaniu testu istotności Fishera. Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Po stwierdzeniu braku istotnych różnic pomiędzy analizowanymi danymi (hipoteza  $H = 0$ ) sprawdzono efekty współdziałań pomiędzy parami cech na podstawie określenia najmniejszej istotnej różnicy (NIR).

Obliczenia oraz interpretację graficzną wykonano, korzystając z programu komputerowego Excel 97 (Microsoft), Table Curve – wersja 2D v3 (Jandel Scientific) oraz Statgraphics Plus – wersja 4.1.

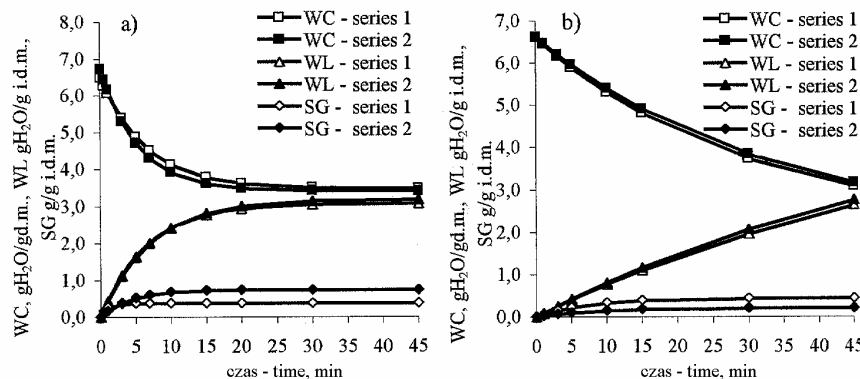
## WYNIKI I DYSKUSJA

**Wpływ czasu przechowywania.** W celu określenia powtarzalności wykonywanych eksperymentów badania prowadzono równolegle w identycznych warunkach.

Otrzymane zawartości i ubytki wody oraz przyrosty masy suchej substancji w jabłkach odwadnianych w roztworze syropu skrobiowego w temperaturze 80°C nie różniły się istotnie statystycznie (rys. 1a). Czas przechowywania jabłek do 4 miesięcy nie spowodował statystycznie istotnych różnic w uzyskanych wartościach zawartości i ubytku wody oraz przyrostu masy suchej substancji. (rys. 1b). Różnice te wystąpiły dopiero podczas odwadniania osmotycznego jabłek przechowywanych 6 miesięcy, co mogło być wynikiem zmian struktury tkanki.

**Wpływ wstępnej obróbki termicznej.** Obróbka termiczna jabłek przed odwadnianiem osmotycznym intensyfikuje przebieg tego procesu, szczególnie przy użyciu roztworu syropu skrobiowego (tab. 1). W jabłkach poddanych wstępnej obróbce termicznej i odwadnianych w roztworze sacharozы przez 45 min zaobserwowano większe ubytki masy w porównaniu z jabłkami niepoddawanyymi tej obróbce. W temperaturze 30°C ubytki masy z jabłek surowych wynosiły około 12%, a po obróbce termicznej około 14%, w 50°C zaś odpowiednio: około 22% i 26%. W przypadku odwadniania w roz-

tworze syropu skrobiowego ubytki masy były znacznie większe w jabłkach poddawanych obróbce termicznej i odwadnianych zarówno w temperaturze 30°C, jak i 50°C. Wynosiły one odpowiednio w temperaturze 30°C około 11% w jabłkach surowych i 32% poddanych obróbce termicznej oraz w temperaturze 50°C odpowiednio około 26% i 35% (tab. 1).



Rys. 1. Kinetyka odwadniania osmotycznego jabłek: a) powtarzalność procesu odwadniania osmotycznego (temperatura 80°C, roztwór syropu skrobiowego), b) wpływ czasu przechowywania: seria 1 – 2 miesiące, seria 2 – 4 miesiące, seria 3 – 6 miesięcy (temperatura 50°C, roztwór syropu skrobiowego)

Fig. 1. Kinetic of osmotic dehydration of apples: a) repeatability of osmotic dehydration (80°C temperature, Starch syrup solution), b) the effect of storage time: series 1 – 2 months, series 2 – 4 months, series 3 – 6 months

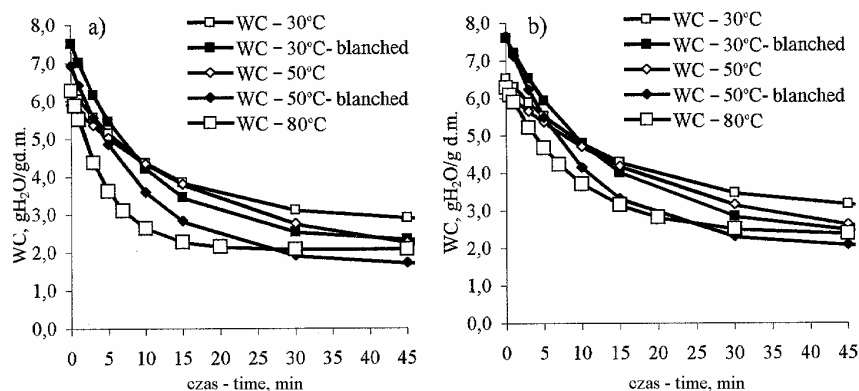
Tabela 1. Ubytki masy w jabłkach odwadnianych osmotycznie w roztworze sacharozy i syropu skrobiowego, %

Table 1. Mass loss during osmotic dehydration of apples in sucrose and starch syrup solution, %

Czas Time, min	Sacharoza – Sucrose					Syrop skrobiowy – Starch syrup				
	surowe raw		blanszowane blanched			surowe raw		blanszowane blanched		
	30°C	50°C	80°C	30°C	50°C	30°C	50°C	80°C	30°C	50°C
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	-	-	0,6	-	-	-	-	2,0	-	-
1	2,2	2,0	2,0	2,6	2,0	2,0	2,0	4,8	5,6	6,8
3	2,6	3,6	7,2	2,8	4,2	2,4	2,8	12,8	8,0	8,4
5	3,0	4,4	10,2	3,2	4,8	3,6	4,0	16,8	11,2	10,8
7	-	-	12,6	-	-	-	-	19,6	-	-
10	4,4	6,8	13,8	4,6	7,2	5,2	9,2	23,6	11,6	15,2
15	6,4	10,8	19,8	6,5	11,2	7,2	14,0	27,2	16,4	22,4
20	-	-	22,8	-	-	-	-	32,8	-	-
30	8,8	15,6	29,4	10,0	16,4	9,2	18,0	38,0	26,8	27,6
45	11,8	22,0	33,2	13,6	25,6	10,8	26,0	44,0	32,0	34,8
180	29,6	44,4	-	28,0	40,4	27,6	52,8	-	51,6	54,8

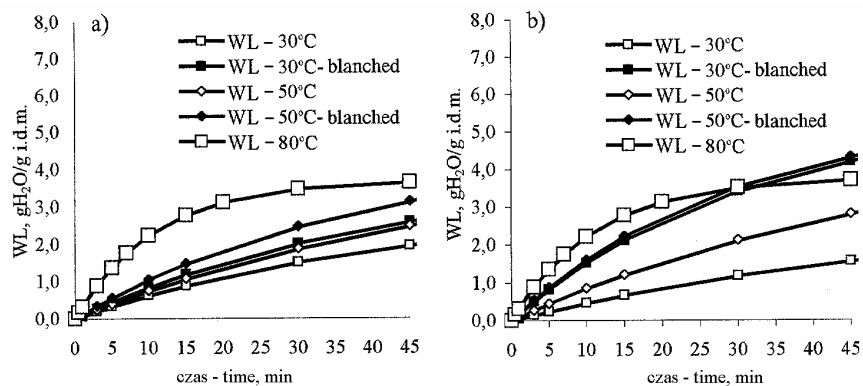
Wpływ obróbki termicznej na zmiany zawartości wody w jabłkach odwadnianych osmotycznie w roztworze sacharozy i syropu skrobiowego przedstawiono na rysunku 2.

W obu przypadkach największe obniżenie zawartości wody nastąpiło przy zastosowaniu temperatury 80°C. Natomiast w jabłkach poddanych obróbce termicznej i odwadnianych w niższej temperaturze obniżenie zawartości wody było większe w porównaniu z jabłkami tylko odwadnianymi. Jednakże różnice te były nieistotne statystycznie.



Rys. 2. Wpływ obróbki termicznej na zmiany zawartości wody w odwadnianych osmotycznie jabłkach: a) roztwór sacharozy, b) roztwór syropu skrobiowego

Fig. 2. The effect of blanching on water content in osmotically dehydrated apples: a) sucrose solution, b) starch syrup solution



Rys. 3. Wpływ obróbki termicznej na ubytki wody w odwadnianych osmotycznie jabłkach: a) roztwór sacharozy, b) roztwór syropu skrobiowego

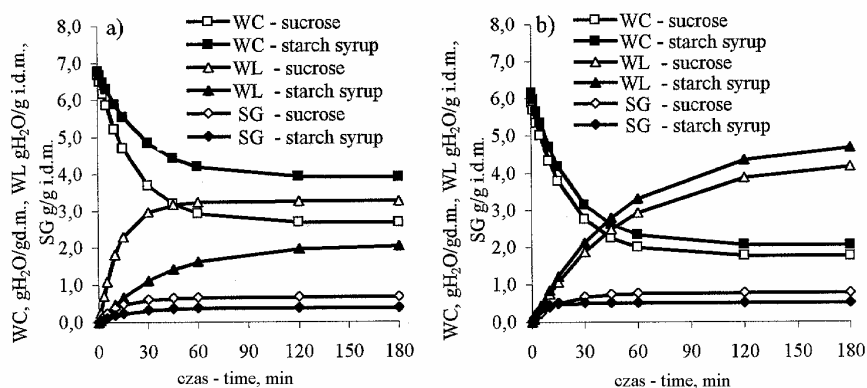
Fig. 3. The effect of blanching on water loss in osmotically dehydrated apples: a) sucrose solution, b) Starch syrup solution

Ubytki wody z jabłek poddanych obróbce termicznej, wskutek obniżenia zawartości wody w procesie blanszowania, charakteryzują się wyższymi wartościami w porównaniu z jabłkami surowymi. Różnice te przy zastosowaniu roztworu sacharozy nie były istotne statystycznie. Natomiast większy efekt zaobserwowano w przypadku prowadze-

nia odwadniania osmotycznego jabłek w roztworze syropu skrobiowego i uzyskano różnice istotne statystycznie (rys. 3).

**Wpływ rodzaju substancji osmotycznej.** Wnikanie substancji osmotycznej jest zawsze największe na początku procesu i zmniejsza się w miarę obniżenia zawartości wody w materiale. W czasie odwadniania osmotycznego jabłek następuje ubytek masy surowca i wzrasta zawartość suchej substancji. W temperaturze 30°C po 3 h odwadniania jabłek w roztworze sacharozy i syropu skrobiowego uzyskano zbliżone wartości, około 28–30%. W podwyższonej temperaturze 50°C ubytek masy z jabłek odwadnianych w roztworze syropu skrobiowego był większy (około 53%) w porównaniu z roztworem sacharozy, gdzie wynosił około 44% (tab. 1).

Wpływ rodzaju substancji osmotycznej na zawartość wody w przeliczeniu na suchą masę odwadnianej próbki przedstawiono na rysunku 4. W jabłkach odwadnianych w temperaturze 30°C (rys. 4a) w roztworze syropu skrobiowego, charakteryzującego się większą masą cząsteczkową, zawartość wody została obniżona w mniejszym stopniu o około 20% w porównaniu z zastosowaniem roztworu sacharozy. Wynika to nie tylko ze zdolności usuwania wody, ale również z wnikania danej substancji osmotycznej do wnętrza tkanki. Podwyższanie temperatury spowodowało uzyskanie mniejszych różnic, nieistotnych statystycznie, osiąganych zawartości wody w jabłkach odwadnianych w obu roztworach osmotycznych – średnio 4–8% (rys. 4b).



Rys. 4. Wpływ rodzaju substancji osmotycznej na odwadnianie osmotyczne jabłek: a) temperatura 30°C, b) 50°C

Fig. 4. The effect of osmoactive substances on osmotic dehydration of apples: a) 30°C temperature, b) 50°C temperature

Podobnie odwadnianie osmotyczne jabłek w roztworze sacharozy w temperaturze 30°C przebiegało korzystniej pod względem uzyskanych wartości ubytków wody (rys. 4a). W porównaniu z zastosowaniem roztworu syropu skrobiowego wartości te były ponad dwukrotnie większe. Zaobserwowano, że ubytki wody były tym większe, im bardziej obniżona została zawartość wody. W podwyższonej temperaturze ubytki wody z jabłek odwadnianych osmotycznie w roztworze syropu skrobiowego były większe lub porównywalne z uzyskanymi w roztworze sacharozy (rys. 4b).

Wartości przyrostu masy suchej substancji w jabłkach odwadnianych w temperaturze 30°C były również blisko dwukrotnie większe w jabłkach odwadnianych w roztworze sacharozy w porównaniu roztworem syropu skrobiowego i wraz z podwyższaniem temperatury różnice te zmniejszały się (rys. 4a, b). Wartość przyrostu masy suchej substancji w odwadnianych jabłkach zależała głównie od masy cząsteczkowej substancji osmotycznej oraz od ilości wody zawartej w próbkach. Im więcej wody usunięto z materiału, tym większa była penetracja tkanki surowca przez substancję osmotyczną oraz im większa była masa cząsteczkowa, tym mniej wnikało jej do tkanki. Jednocześnie podwyższenie temperatury powodowało rozluźnienie tkanki i większy przyrost suchej substancji w obu roztworach osmotycznych, ale uzyskane wyniki nie różniły się istotnie statystycznie.

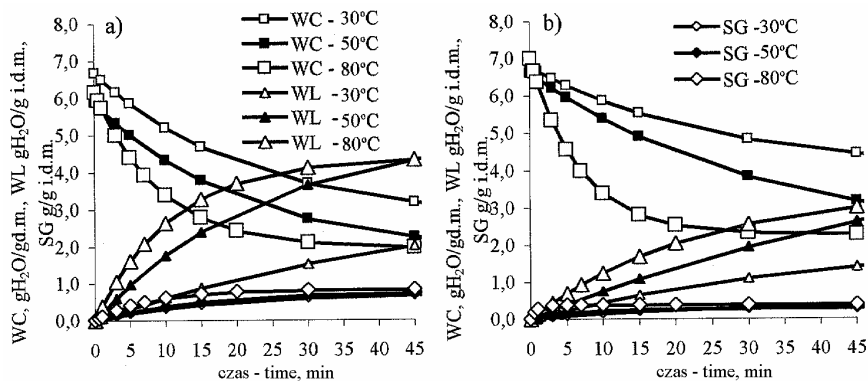
Przedstawione dane, obrazujące zmiany przyrostu masy suchej substancji i obniżenie zawartości wody podczas odwadniania osmotycznego, potwierdzają tezę o dwukierunkowej wymianie masy w czasie trwania tego procesu. Niezależnie od rodzaju substancji osmotycznej, ilość usuniętej wody jest kilkakrotnie większa od ilości dyfundującej substancji osmotycznej.

Największy wpływ rodzaju substancji osmotycznej na odwadnianie osmotyczne jabłek zaobserwowano w temperaturze 30°C. W roztworze sacharozy, w porównaniu z roztworem syropu skrobiowego, uzyskano znacznie większe (o około 50%) ubytki wody. Odwadnianie osmotyczne jabłek w zakresie temperatur 50–80°C w roztworze syropu skrobiowego, w odniesieniu do wartości uzyskanych podczas odwadniania w roztworze sacharozy, dało lepszy efekt w postaci małego przyrostu masy suchej substancji przy jednoczesnym większym lub porównywalnym ubytku wody w materiale.

**Wpływ temperatury.** Odwadnianie tkanki roślinnej jest w dużym stopniu uzależnione od temperatury. Wyniki tego procesu analizowano w zakresie temperatur 30–80°C.

W czasie odwadniania osmotycznego jabłek zaobserwowano wzrost ubytku masy próbek wraz z podwyższeniem temperatury. Po 45 min odwadniania w temperaturze 30°C w obu roztworach sacharozy i syropu skrobiowego uzyskano około 11–12% ubytek masy. W temperaturze 50°C nastąpiło podwyższenie ubytku masy odwodnionych próbek jabłek w roztworze sacharozy do około 22%, a w roztworze syropu skrobiowego do około 26%. Podwyższenie temperatury do 80°C spowodowało kolejne zwiększenie ubytku masy w roztworze sacharozy do ponad 33%, a w roztworze syropu skrobiowego do około 44% (tab. 1).

Analiza statystyczna wykazała istotny wpływ temperatury na zmiany zawartości i ubytki wody w jabłkach odwadnianych w obu roztworach osmotycznych (rys. 5). Wzrost temperatury odwadniania spowodował większe obniżenie zawartości wody w próbkach jabłek. W temperaturze 30°C zawartość wody w jabłkach odwadnianych 45 min w roztworze sacharozy i syropu skrobiowego wynosiła odpowiednio około 3,2 i 4,4 gH<sub>2</sub>O/g i.d.m., a w temperaturze 50°C odpowiednio około 2,2 i 3,2 gH<sub>2</sub>O/g i.d.m. oraz około 2,0 i 2,3 gH<sub>2</sub>O/g i.d.m. w temperaturze 80°C. Obniżenie zawartości wody wynika ze wzrostu ubytków wody w procesie osmotycznego odwadniania wraz ze wzrostem temperatury tego procesu.



Rys. 5. Wpływ temperatury na odwadnianie osmotyczne jabłek: a) roztwór sacharozowy, b) roztwór syropu skrobiowego

Fig. 5. The effect of temperature on osmotic dehydration of apples: a) sucrose solution, b) starch syrup solution

Zaobserwowano wzrost intensywności przechodzenia substancji osmotycznej do tkanki roślinnej z podwyższaniem temperatury procesu odwadniania osmotycznego, przy czym mniejszy przyrost masy suchej substancji zaobserwowano w przypadku próbek odwadnianych w roztworze syropu skrobiowego (rys. 5).

Odwadnianie osmotyczne w temperaturze 30°C przebiegało mniej intensywnie niż w temperaturze wyższej (50–80°C). Wynika to ze wzrostu oporu wymiany masy, będącego następstwem dużej lepkości roztworów osmotycznych w niższych temperaturach, dzięki czemu substancje osmotyczne pozostają na powierzchni próbek. W temperaturach wyższych występuje znaczne zmniejszenie lepkości roztworów osmotycznych i następuje utrata półprzepuszczalności błon komórkowych. Substancje osmotyczne łatwiej wnikają wtedy do odwadnianej tkanki, a zarazem mniej intensywnie jest usuwane wody.

Zakres temperatur 30–50°C można uznać za najwłaściwszy dla procesu odwadniania osmotycznego jabłek. W tym zakresie temperatur w małym stopniu ulega zniszczeniu błona półprzepuszczalna i usuwana jest największa ilość wody z jabłek, ale jednocześnie przyrost masy suchej substancji osmotycznej do tkanki surowca nie jest znacząco duży.

## WNIOSKI

1. Na proces odwadniania osmotycznego jabłek ma wpływ znaczne wydłużenie czasu przechowywania surowca, wstępna obróbka termiczna, rodzaj substancji osmotycznej oraz temperatura procesu.

2. Wstępna obróbka termiczna intensyfikuje proces odwadniania osmotycznego w zakresie temperatury 30–50°C niezależnie od użytej substancji osmotycznej. Jednakże tylko przy zastosowaniu roztworu syropu skrobiowego różnice te były istotne statystycznie.



3. Zastosowanie substancji osmotycznej o mniejszej masie cząsteczkowej zwiększa stopień odwodnienia jabłek i przyrost masy suchej substancji. W temperaturze 30°C po 45 min odwadniania w roztworze sacharozy zawartość wody została obniżona o około 30% więcej, a przyrost masy suchej substancji w odwadnianych jabłkach był około dwukrotnie większy w porównaniu z odwadnianiem w roztworze syropu skrobiowego.

4. Wzrost temperatury odwadniania osmotycznego w zakresie od 30 do 80°C powoduje zwiększenie ilości usuwanej wody, przy równoczesnym zwiększeniu wnikania substancji osmotycznej do odwadnianej tkanki jabłek w badanych roztworach osmotycznych.

## PIŚMIENNICTWO

- Alzamora S. M., Gerschenson L. N., Vidales S., Nieto A., 2000. Structural changes in the minimal processing of fruits: some effects of blanching and sugar impregnation. In: *Food Engineering 2000*, eds. P. Fito, E. Omega-Rodriguez, G. V. Borbosa-Canovas, Chapman & Hall, ITP, New York, 117–139.
- Alvarez C. A., Aguerre R., Gómez R., Yidales S., Alzamora S. M., Gerschenson L. N., 1995. Air dehydration of strawberries: effect of blanching and osmotic pre-treatments on the kinetics of moisture transport. *J. Food Engineering* 25, 167–178.
- Kowalska H., Lenart A., 2000. The influence of plant tissue structure on osmotic dehydration. 12th International Drying Symposium IDS, Netherlands, Hague, paper nr 242.
- Kowalska H., Lenart A., 2001. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *J. Food Engineering* 49 (2/3), 137–140.
- Lazarides H. N., 2000. Controlling solids uptake during osmotic processing of plant tissues. In: *Industrial Application of Osmotic Dehydration Treatments of Food*, eds. M. Dalla Rosa, Spiess W.E.L. Forum, Udine, 41–48.
- Lazarides H. N., Katsanidis E., Nicolaidis A., 1995. Mass transfer kinetics during osmotic pre-concentration aiming at minimal solid uptake. *J. Food Engineering* 25, 151–165.
- Lewicki P. P., Kowalska H., Lenart A., 1998. Effect of temperature on mass transfer during osmotic dehydration of plant tissue. *Proceedings of Industrial Seminar, Industrial Application of Osmotic Dehydration Treatments of Food*, Bertinoro, Italy, 44–50.

## TRANSFER OF WATER AND SOLUBLE SUBSTANCES IN OSMOTICALLY DEHYDRATED APPLES

**Abstract.** Osmotic dehydration of apples was carried out in solution of sucrose and starch syrup. Temperature of dewatering was changed from 30 to 50 and 80°C. Time of dehydration was varied from 0 to 180 min. Osmotic dehydration of apples depends on storage time, blanching, the kind of osmotic substances and temperature. When the time of storage is longer, osmotic dehydration is more intensive, because tissue structure of apples has some loose. The using sucrose solution gives 2 times much value of solids gain and water content in apples than by using solution of starch syrup. The most significant changes of water content, water loss and solids gain took place during osmotic dehydra-

tion of apples in 80°C temperature. Osmotic dehydration of blanched apples was much intensive then without blanching.

**Keywords:** storage time, osmotic substances, blanching, plant tissue

*Hanna Kowalska, Andrzej Lenart, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Technologii Żywności SGGW, ul. Nowoursynowska 159C, 02-787 Warszawa, kowalskah@alpha.sggw.waw.pl*