

HANNA KOWALSKA

## WPLYW TEMPERATURY NA WYMIANĘ MASY W JABŁKACH ODWADNIANYCH OSMOTYCZNIE W ROZTWORZE SACHAROZY

### Streszczenie

Celem pracy była analiza wymiany masy (wody i substancji osmotycznej) w tkance jabłek odwadnianych osmotycznie. Jabłka w kształcie prostopadłościanów o wymiarach 25×25×10 mm odwadniano osmotycznie w roztworze sacharozy o stężeniu 60 % w temperaturze 30, 50 i 70 °C w ciągu 180 min. Wykazano, że w wyniku osmotycznego odwadniania jabłek nastąpił ubytek masy, będący konsekwencją większego obniżenia zawartości wody w porównaniu z przyrostem suchej masy. Im wyższa była temperatura i dłuższy czas odwadniania, tym transport masy wewnątrz tkanki jabłek był większy. Podwyższenie temperatury spowodowało zwiększenie intensywności procesu odwadniania osmotycznego i w konsekwencji skrócenia czasu osiągnięcia przez układ stanu równowagi. Po około 45 min osmotycznego odwadniania jabłek w niższej temperaturze (30 °C) ubytek masy był porównywalny z efektem uzyskanym w znacznie krótszym czasie odwadniania (około 10 min), ale w wyższej temperaturze (70 °C). Efektywność procesu była tym większa, im wyższy był stosunek ubytku wody w odwadnianym materiale do przyrostu substancji osmotycznej z otaczającego roztworu i w badanych jabłkach wynosiła 2,7 - 5,2, ale wielkość ta tylko nieznacznie była zależna od temperatury.

**Słowa kluczowe:** jabłka, odwadnianie osmotyczne, wymiana masy, ubytek wody, przyrost suchej masy

### Wprowadzenie

W wielu badaniach stosowano różne sposoby matematycznego opisu dotyczącego wymiany masy w odwadnianych osmotycznie owocach i warzywach. Panadés i wsp. [10] do przewidywania wpływu temperatury, czasu i ciśnienia na wymianę masy odwadnianej osmotycznie guawy zastosowali empiryczny model matematyczny w postaci wielomianu drugiego stopnia. El-Aouar i wsp. [3] porównywali działanie roztworu sacharozy oraz roztworu syropu kukurydzianego podczas odwadniania osmotycznego papai przy zmiennych parametrach stężenia roztworów, temperatury i czasu. Analizę wymiany masy odwadnianej papai analizowano za pomocą modelu matematycznego, który był funkcją badanych czynników oraz ich wzajemnych interakcji. Chenlo i wsp.

---

*Dr inż. H. Kowalska, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydz. Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa*

[2] do odwadniania osmotycznego kasztanów zastosowali empiryczny model LDR (Logistic Dose Response), uwzględniający stały wymiar odwadnianego materiału oraz model bazujący na prawie Ficka, uwzględniający stały efektywny współczynnik dyfuzji. Ten drugi okazał się mniej przydatny, ponieważ profil istotnych zmian zawartości wody i sacharozy w kasztanach odwadnianych przez 4 h stwierdzono głównie w warstwie zewnętrznej o grubości mniejszej od 4 mm. Podobne badania prowadzili Tsamo i wsp. [15]. Do analizy wymiany masy podczas osmotycznego odwadniania plasterków cebuli Sutar i Gupta [14] zastosowali równanie 2-parametryczne. W badaniach Sereno i wsp. [12] oraz Kowalskiej i wsp. [5] analizę wymiany masy przeprowadzono przy następujących zmiennych: temperatura, stężenie roztworu osmotycznego oraz czas trwania procesu i opisano uwzględniając II prawo Ficka. Singh i wsp. [13] wykazali, że do opisu danych eksperymentalnych ubytku wody z odwadnianej marchwi można zastosować model Azuara, a do przyrostu suchej masy model Magee. Natomiast efektywny współczynnik dyfuzji wody i substancji osmotycznej w kostkach marchwi obliczono, bazując na prawie Ficka przy zastosowaniu programu komputerowego i wyznaczono równania w odniesieniu do 6 okresów dyfuzji. Mayor i wsp. [8] do opisu kinetyki odwadniania osmotycznego dyni w roztworze chlorku sodu zastosowali model matematyczny również bazujący na prawie Ficka. Stwierdzili, że zastosowany model matematyczny wymiany masy w dyni odwadnianej osmotycznie może być przydatny do projektowania i kontrolowania określonych operacji na skalę przemysłową. Istnieje potrzeba znalezienia matematycznego opisu wymiany masy tkanki roślinnej ze względu na specyfikę jej właściwości pod względem wymiany masy podczas osmotycznego odwadniania różnych rodzajów i odmian owoców i warzyw.

Celem pracy była analiza zmian i opis matematyczny normalizowanej zawartości wody i przyrostu suchej masy w jabłkach podczas odwadniania osmotycznego z uwzględnieniem wpływu temperatury i czasu.

### **Materiał i metody badań**

Do badań użyto jabłek odmiany Idared w kształcie prostopadłościanów o wymiarach  $25 \times 25 \times 10$  mm. Odwadnianie osmotyczne prowadzono w 60 % roztworze sacharozy. Temperaturę procesu zmieniano w zakresie  $30 - 70$  °C. Próbkę umieszczano w zbiorniku umożliwiającym ich separację i stosowano wymuszony ruch roztworu (strumień przepływu  $1 \text{ dm}^3/\text{min}$ ). Stosunek masowy roztworu do masy próbek wynosił 1:20. Oznaczenie zawartości suchej masy wykonywano metodą wagową zgodnie z PN [11].

Wyniki przedstawiono jako średnią z trzech powtórzeń.

Do opisu procesów technologicznych zastosowano następujące wielkości i równania matematyczne [12]:

- normalizowana zawartość wody  $NWC = W/W_0$  [wartość bezwymiarowa]:

i opisano równaniem:

$$NWC = 1 - k_w \cdot \tau^{0,5} \quad (1)$$

gdzie:  $W_0$  – początkowa zawartość wody [g/g],  
 $W$  – zawartość wody w próbkach odwadnianych [g/g],  
 $k_w$  – masowy współczynnik wymiany wody [1/min],  
 $\tau$  – czas odwadniania [min],

– normalizowany przyrost suchej masy  $NSG = S/S_0$ , [wartość bezwymiarowa]:

i opisano równaniem:

$$NSG = 1 - k_s \cdot \tau^{0,5} \quad (2)$$

gdzie:  $S_0$  – początkowa zawartość suchej masy [g/g],  
 $S$  – zawartość suchej masy w próbkach odwadnianych [g/g],  
 $k_s$  – masowy współczynnik wymiany wody [1/min],  
 $\tau$  – czas odwadniania [min],

– ubytek masy  $\Delta M = 100 \cdot M/M_0$  [%]

gdzie:  $M_0$  – początkowa masa próbki [g],  
 $M$  – masa próbek odwadnianych [g],

– ubytek wody  $\Delta W = (W \cdot M - W_0 \cdot M_0)/W_0 \cdot M_0$  [gH<sub>2</sub>O/g p. s.s.], opisany równaniem [5]:

$$\Delta W = A \cdot (1 - \exp^{-\tau \cdot B}) \quad (3)$$

gdzie:  $A, B$  - parametry procesu [1/min]

– przyrost suchej masy  $SG = (S_0 \cdot M_0 - S \cdot M)/S_0 \cdot M_0$ , [g/g p. s.s.]:

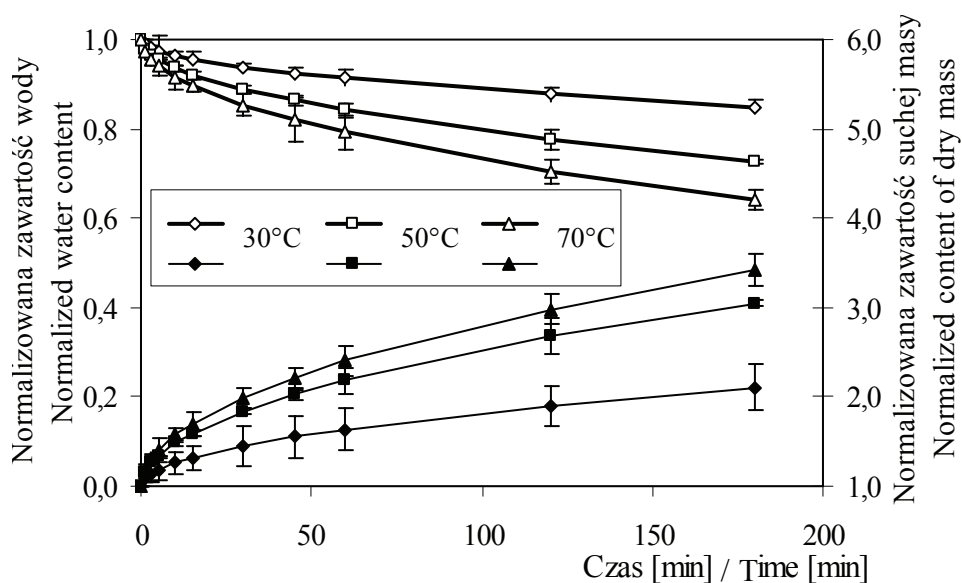
$$SG = A \cdot (1 - \exp^{-\tau \cdot B}) \quad (4)$$

Wyniki opracowano statystycznie, przeprowadzając jednoocznikową analizę wariancji (Multifactor ANOVA) i weryfikację hipotez przy zastosowaniu testu istotności (0,95) za pomocą programu Statgraphics.

## Wyniki i dyskusja

Normalizowana zawartość wody (NWC) i przyrost suchej masy (NSG) w jabłkach odwadnianych osmotycznie w roztworze sacharozy w sposób typowy zależała od temperatury (rys. 1). Wraz z podwyższaniem temperatury następowało coraz większe zmniejszanie zawartości wody w odwadnianych jabłkach. Równocześnie normalizowany przyrost suchej masy był tym większy, im wyższa była temperatura. Wartość wyznaczonego współczynnika wymiany masy  $k_w$  (strumienia wody) na podstawie równania [1] również ulegała zwiększeniu od 0,0112 (w przypadku zastosowania temp.

30 °C) do 0,0269 [1/min] (w temp. 80 °C). Natomiast współczynnik wymiany masy  $k_s$  (strumień substancji osmotycznej) w zakresie temp. 30 – 70 °C zmieniał się od 0,0824 do 0,181 [1/min]. Podobne zależności wykazali w badaniach Sereno i wsp. [12], którzy zastosowali te same równania do opisu normalizowanej zawartości wody i przyrostu suchej masy. Sutar i Gupta [14] stwierdzili, że stosowany przez nich 2-parametryczny model do opisu osmotycznego odwadniania plasterków cebuli może być przydatny do określenia punktu osiągnięcia równowagi bez konieczności prowadzenia procesu przez długi okres.

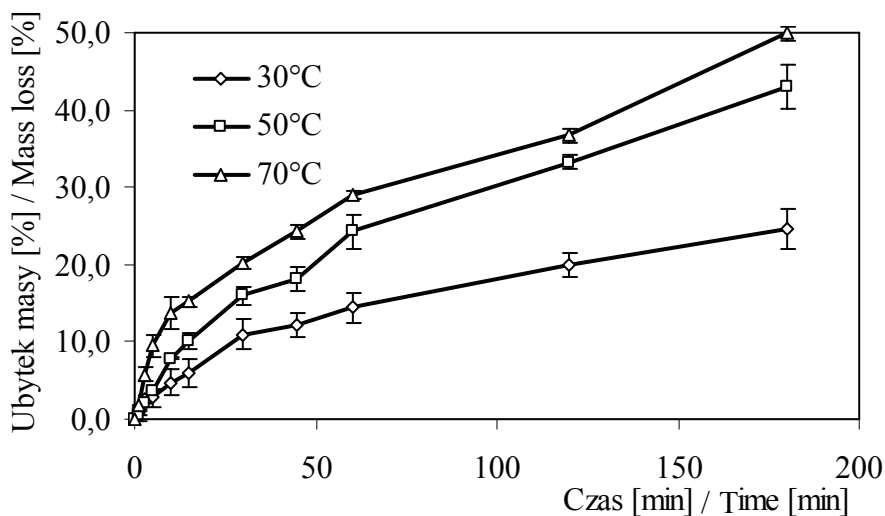


Rys. 1. Wpływ temperatury na kinetykę osmotycznego odwadniania jabłek w roztworze sacharozy, zmiany normalizowanej zawartości wody NWC i przyrost suchej masy NSG.

Fig. 1. Effect of temperature on the kinetics of osmotic dehydration of apples in sucrose solution, changes in 'NWC' normalized water content and in 'NSG' dry mass gain.

Wraz ze zmianą temperatury procesu odwadniania osmotycznego tkanki roślinnej zmianie ulegają warunki wymiany masy, co wpływa na zawartość wody i ilość zaabsorbowanej przez produkt substancji osmotycznej [6]. Wpływ temperatury na przebieg procesu może być wyjaśniony jej działaniem na wybiórczy charakter błon półprzepuszczalnych, które w wysokiej temperaturze tracą swą selektywność. Ponadto wysoka temperatura powoduje obniżanie lepkości roztworów, a więc zmniejszanie oporu wnikiwania substancji osmotycznej w głąb materiału [4, 13]. Badania Ozena i wsp. [9], którzy analizowali wpływ temp. 20, 30 i 40 °C, wykazały największe znaczenie temperatury w ciągu pierwszych 15 min procesu. Natomiast nie stwierdzono znaczącego wpływu tego parametru na odwadnianie owoców przez 20 h.

Ubytek masy odwadnianych osmotycznie jabłek był większy przy wyższej temperaturze procesu (rys. 2). Prawie w całym zakresie pomiarowym ubytek masy z jabłek odwadnianych w temp. 50 °C był o około 50 % większy w porównaniu z próbkami odwadnianymi w 30 °C oraz około 2-krotnie większy przy zastosowaniu temp. 70 °C. Analiza statystyczna potwierdziła istotny wpływ temperatury na ubytek masy badanych jabłek odwadnianych osmotycznie w zakresie temp. 30 - 70°C (tab. 1).



Rys. 2. Wpływ temperatury na ubytek masy  $\Delta M$  jabłek odwadnianych osmotycznie w roztworze sacharozy.  
Fig. 2. Effect of temperature on  $\Delta M$  mass loss in the osmotically dehydrated apples in sucrose solution.

Tabela 1

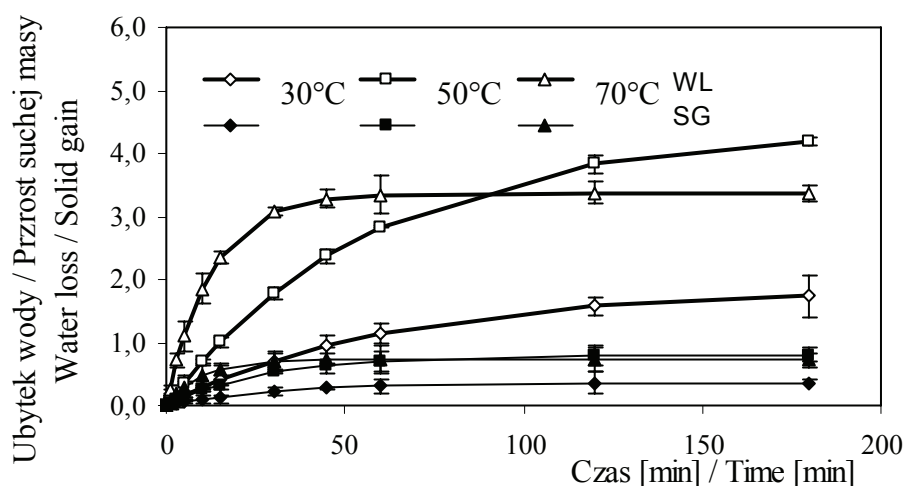
Wyniki analizy statystycznej odwadniania osmotycznego jabłek.  
Results of the statistical analysis of osmotic dehydration of apples.

Czynnik Factor	$\Delta M$ , [%]			WL [gH <sub>2</sub> O/g p.s.m.]			SG [g/g p.s.m.]		
	P-value	Różnica Difference	NIR LSD	P-value	Różnica Difference	NIR LSD	P-value	Różnica Difference	NIR LSD
30 °C - 50 °C	0,0494	*-11,63119	11,6219	0,0191	*-1,0972	1,0779	0,0126	*-0,2452	0,2199
30 °C - 70 °C		*-14,7163	11,6219		*-1,5678	1,0779		*-0,3321	0,2199
50 °C - 70 °C		*-11,7044	11,6219		-0,5380	1,0779		0,0869	0,2199

Czas i temperatura wpływają kompleksowo na efekt odwodnienia materiału, czego wyrazem jest ubytek masy. Ubytek masy na poziomie około 14 % uzyskano podczas odwadniania jabłek w temp. 30 °C przez około 60 min, natomiast w temp. 70 °C

już po około 10 min (rys. 2). Podobny wpływ temperatury i czasu na ubytek masy wykazali inni autorzy [3, 7].

Na ubytek wody z odwadnianych osmotycznie jabłek w roztworze sacharozy i wnikanie do nich suchej masy miała wpływ temperatura (rys. 3). Zaobserwowano statystycznie istotny wpływ tego parametru w zakresie 30 - 50 °C oraz 30 - 70 °C, natomiast nie wykazano statystycznie istotnych różnic w zakresie 50 - 70 °C (tab. 1). Jabłka odwadniane osmotycznie w temp. 50 °C przez 45 min charakteryzowały się ponad 2-krotnie większym ubytkiem wody (około 2,4 gH<sub>2</sub>O/g p.s.m.) w porównaniu z jabłkami odwadnianymi w temp. 30 °C (około 0,96 gH<sub>2</sub>O/g p.s.m.) i ponad 3-krotnie większym, przy zastosowaniu 70 °C (około 3,3 gH<sub>2</sub>O/g p.s.m.). Podwyższenie temperatury powoduje zwiększenie szybkości usuwania wody z materiału i absorpcji substancji osmotycznej, co prowadzi do skrócenia czasu osiągnięcia przez układ stanu równowagi. Już po około 45 min odwadniania jabłek ubytek wody z badanych jabłek utrzymywał się na stałym poziomie.



Rys. 3. Wpływ temperatury na ubytek wody WL i przyrost suchej masy SG w jabłkach odwadnianych osmotycznie w roztworze sacharozy.

Fig. 3. Effect of temperature on WL water loss and SG gain of dry mass in osmotically dehydrated apples in sucrose solution.

Przyrost suchej masy jabłek odwadnianych osmotycznie, podobnie, jak ubytek wody, zależał od wartości zadanej temperatury (rys. 3). Już po krótkim czasie (do 15 min) nastąpiło wysycenie tkanki jabłek substancją osmotyczną. Nie zaobserwowano też statystycznie istotnego wpływu temperatury na przyrost suchej masy w jabłkach w zakresie temp. 50 - 70 °C (tab. 1).

Tabela 2

Wyniki efektywności procesu wyrażone stosunkiem ubytku wody do przyrostu suchej masy WL/SG.  
Results of the process efficiency expressed as a ration of water loss to dry mass gain WL/SG.

Temp. [°C]	Czas / Time [min]									
	1	3	5	10	15	30	45	60	120	180
30	2,7	2,8	2,8	2,9	3,0	3,3	3,5	3,7	4,4	4,8
50	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0	3,4	3,7	4,0	4,8	5,2
70	3,7	3,8	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,6	4,7	4,7

Natomiast wartość przyrostu suchej masy, niezależnie od temperatury, była kilkakrotnie mniejsza w porównaniu z ubytkiem wody z jabłek (rys. 3). Już po krótkim czasie odwadniania (1-15 min) stosunek ubytku wody do przyrostu suchej masy (WL/SG) w badanych jabłkach wynosił 2,7 - 3,0 w zakresie temp. 30 - 50 °C oraz 3,7 - 4,2 w temp. 70 °C (rys. 3; tab. 2). W jabłkach odwadnianych osmotycznie przez 180 min ubytek wody był około 5-krotnie większy w porównaniu z przyrostem suchej masy.

Stosunek ubytku wody do przyrostu suchej masy z roztworu otaczającego produkt (WL/SG) wskazuje, że efektywność procesu jest tym wyższa, im większy jest ubytek wody w odwadnianym materiale, przy jak najmniejszym wnikaniu substancji osmotycznej [1]. Sutar i Gupta [14] stwierdzili, że równowagowy ubytek wody i przyrost masy suchej substancji w odwadnianej cebuli wyznaczony za pomocą analizowanego modelu ulegały zwiększeniu w sposób logarytmiczny wraz ze zwiększaniem stężenia soli i podwyższania temperatury.

### Wnioski

1. Zwiększenie temperatury odwadniania osmotycznego jabłek w zakresie 30 - 50 °C wpływa proporcjonalnie na obniżenie normalizowanej zawartości wody przy jednoczesnym podwyższeniu przyrostu suchej masy.
2. Podwyższenie temperatury powoduje zwiększenie intensywności procesu odwadniania osmotycznego i w konsekwencji skraca czas osiągnięcia przez układ stanu równowagi. Po około 45 min osmotycznego odwadniania jabłek w niższej temperaturze (30 °C) ubytek masy jest porównywalny z ubytkiem po znacznie krótszym czasie (około 10 min) w wyższej temperaturze (70 °C).
3. Ubytek wody z odwadnianych osmotycznie jabłek w roztworze sacharozy i przyrost w nich suchej masy zależą od temperatury procesu. Zaobserwowano statystycznie istotny wpływ temperatury w zakresie 30 - 50 °C oraz 30 - 70 °C, natomiast nie wykazano statystycznie istotnych różnic w zakresie 50 - 70 °C. Jabłka odwadniane osmotycznie w temp. 50 i 70 °C charakteryzowały się ponad

- 2 - 3-krotnie większym ubytkiem wody w porównaniu z jabłkami odwadnianymi w temperaturze 30 °C.
4. Efektywność procesu wyrażona jako stosunek ubytku wody z odwadnianych jabłek do masy wnikażącej substancji z otaczającego roztworu nieznacznie tylko zależała od temperatury.

*Praca, finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2010 jako projekt badawczy nr N N312 0351 33, była prezentowana podczas VI Konferencji Naukowej nt. „Nowoczesne metody analityczne w zapewnieniu jakości i bezpieczeństwa żywności”, Warszawa, 6 - 7 grudnia 2007 r.*

### Literatura

- [1] Chenlo F., Moreira R., Fernandez-Herrero C., Vazquez G.: Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions. *J. Food Eng.*, 2006, **73**, 164–173.
- [2] Chenlo F., Moreira R., Fernández-Herrero C., Vázquez G.: Osmotic dehydration of chestnut with sucrose: Mass transfer processes and global kinetics modelling. *J. Food Eng.*, 2007, **78**, 765–774.
- [3] El-Aouar A.A., Moreira Azoubel P., Barbosa Jr. J.L., Xidieh Murr F.E.: Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *J. Food Eng.*, 2006, **75**, 267–274.
- [4] Jokić A., Gyura J., Lević L., Zavargo Z.: Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. *J. Food Eng.*, 2007, **78**, 47–51.
- [5] Kowalska H., Lenart A., Leszczyk D.: The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *J. Food Eng.*, 2008, **86**, 30–38.
- [6] Lenart A.: Osmotyczne odwadnianie jabłek jako obróbka wstępna przed suszeniem konwekcyjnym owoców i warzyw. *Przem. Spoż.*, 1990, **12 (44)**, 307-309.
- [7] Lazarides H.N.: Controlling solids uptake during osmotic processing of plant tissues, *Industrial Application of Osmotic Dehydration Treatments of Food*. eds. Dalla Rosa M., Spiess W.E.L. Forum Udine, 2000, pp. 41-48.
- [8] Mayor L., Moreira R., Chenlo F., Sereno A.M.: Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. *J. Food Eng.*, 2006, **74**, 253–262.
- [9] Ozen B.F., Dock L.L., Ozdemir M., Floros J.D.: Processing factors affecting the osmotic dehydration of diced green peppers. *International J. Food Sci. Technol.*, 2002, **37**, 497–502.
- [10] Panadés G., Fito P., Aguiar Y., Núñez de Villavicencio M., Acosta V.: Osmotic dehydration of guava: Influence of operating parameters on process kinetics. *J. Food Eng.*, 2006, **72**, 383–389.
- [11] PN-90/A-75101/03. Przetwory owocowo – warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczanie zawartości suchej masy metodą wagową.
- [12] Sereno A., M. Moreira R. & Martinez E.: Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *J. Food Eng.*, 2001, **47**, 43-49.
- [13] Singh B., Kumar A., Gupta A.K.: Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. *J. Food Eng.*, 2007, **79**, 471–480.
- [14] Sutar P.P., Gupta D.K.: Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices. *J. Food Eng.*, 2007, **78**, 90–97.
- [15] Tsamo C.V.P., Bilame A.F., Ndjouenkeu R., Nono Y.J.: Study of material transfer during osmotic dehydration of onion slices (*Allium cepa*) and tomato fruits (*Lycopersicon esculentum*). *J. Food Sci. Technol.*, 2005, **38**, 495–500.



**EFFECT OF TEMPERATURE ON MASS TRANSFER IN APPLES OSMOTICALLY DEHYDRATED IN SUCROSE SOLUTION**

## S u m m a r y

The objective of this research was the analysis of mass transfer (i.e. of water and osmotic substance) in the tissue of osmotically dehydrated apples. The samples shaped as rectangular prisms of 25x25x10 mm were osmotically dehydrated in a 60 % sucrose solution at a temperature of 30, 50, and 70 °C for 180 minutes. It was showed that the result of the osmotic dehydration of apples was a mass loss that occurred as a consequence of a higher decrease in the water content compared to the gain in dry matter. The higher the temperature and the longer the dehydration time were, the larger the mass transfer inside the apple tissue was. The rise in temperature caused an increase in the process intensity of osmotic dehydration and, in consequence, the time during which the whole system tried to achieve a state of equilibrium state was shortened. After about 45 minutes of the osmotic dehydration of apples at a lower temperature (30 °C), the mass loss was comparable with the effect obtained during a significantly shorter time of dehydration (about 10 minutes), however, at a higher temperature (70 °C). The efficiency of this process was higher when the ratio: water loss in the osmotically dehydrated apples to gain of osmotic substance from the surrounding solution (WL/SG) was higher, and, as for the samples investigated, it equalled 2.7-5.2, but this value only insignificantly depended on temperature.

**Key words:** apples, osmotic dehydration, mass transfer, water loss, dry mass gain ☒