

## WPŁYW WSTĘPNEGO ODWADNIANIA OSMOTYCZNEGO NA WSPÓŁCZYNNIK DYFUZJI WODY W TKANCE JABŁEK SUSZONYCH KONWEKCYJNIE

Celem pracy jest analiza wpływu odwadniania osmotycznego, rodzaju substancji osmotycznej oraz temperatury i czasu odwadniania na dyfuzję wody w tkance jabłek w czasie suszenia konwekcyjnego. Stwierdzono, że średni umowny współczynnik dyfuzji wody jabłek w czasie suszenia konwekcyjnego wzrasta wraz z podwyższaniem temperatury suszenia, bez względu na zastosowaną substancję osmotyczną. Czas odwadniania osmotycznego wpływa istotnie na wartość umownego współczynnika dyfuzji wody w czasie suszenia jabłek.

**Słowa kluczowe:** jabłka, dyfuzja, suszenie konwekcyjne, odwadnianie osmotyczne

### Wprowadzenie

W przemyśle spożywczym większość stosowanych procesów technologicznych oparta jest na ruchu masy. Zjawisko to jest rozumiane jako proces, w którym na skutek różnych czynników następuje przemieszczanie się składnika lub składników przez granicę faz lub wewnątrz tej samej fazy. [Kowalska i wsp., 2000]. Zdefiniowaną siłą napędową ruchu masy jest różnica potencjałów chemicznych, natomiast w przemyśle spożywczym wymiana masy następuje w wyniku różnicy stężeń, ciśnienia lub temperatury. Przykładem takich zabiegów technologicznych jest suszenie, krystalizacja, ekstrakcja, destylacja, solenie, peklowanie, wędzenie, kandyzowanie, zagęszczanie [Hernandez i wsp., 2000; Maroulis i wsp., 1995]. Stosowane są różne rodzaje obróbki technologicznej zmieniające strukturę materiału, poprawiając dzięki temu warunki wymiany masy. Zmiana struktury pozwala ograniczyć opory wymiany masy podczas procesów technologicznych prowadzących do otrzymania produktu o odpowiedniej jakości [Matteo i wsp., 2003; Janowicz, 2002; Valdez-Fragoso i wsp., 1998]. Celem pracy jest analiza wpływu odwadniania osmotycznego, rodzaju substancji osmotycznej oraz temperatury i czasu odwadniania na dyfuzję wody w tkance jabłek w czasie suszenia konwekcyjnego.

### Metodyka badań

W badaniach zastosowano odwadnianie osmotyczne jako obróbkę wstępną przed suszeniem konwekcyjnym. Jabłka rozdrobnione w kostki o boku 10 mm odwadniano w roztworach osmotycznych o temperaturze 30, 50 i 70°C w łaźni wodnej z wytrząsarką, która pozwalała utrzymać stałą temperaturę procesu i umożliwiała jego intensyfikację przez ciągłe mieszanie. Do sporządzenia roztworów osmotycznych użyto trzech rodzajów cukrów, które charakteryzowały się różną wielkością cząsteczek. Wstępne badania pozwoliły określić stężenia cukrów, aby ich aktywność wody w temperaturze 25°C wynosiła 0,9 i tak zastosowano: 49% roztwór glukozy, 61,5% roztwór sacharozy i 67,5% roztwór syropu skrobiowego o DE 35-38 (syrop). W celu określenia dyfuzyjności suszonej sposobem osmotyczno-konwekcyjnym tkanki jabłek zbadano wpływ rodzaju substancji osmotycznej, czasu (5 minut, 3 i 24 godziny) i temperatury (30, 50 i 70°C) odwadniania na przebieg suszenia konwekcyjnego w zakresie temperatury czynnika suszącego od 50 do 90°C.

### Wyniki badań i ich analiza

Analiza dyfuzji w stanie nieustalonym dla płyty, zgodnie z II prawem Ficka przy określonych warunkach brzegowych i przy założeniu kształtu w postaci prostopadłościanu niezmiennego w czasie pozwoliła na opisanie suszenia równaniem w postaci:

$$U_{red} = \frac{u_{\tau} - u_r}{u_o - u_r} = \frac{512}{\pi^6} \cdot EXP \left[ \frac{\pi^2 \cdot a_m}{4} \left[ \frac{1}{\left(\frac{L}{2}\right)^2} + \frac{1}{\left(\frac{s}{2}\right)^2} + \frac{1}{\left(\frac{h}{2}\right)^2} \right] \tau \right]$$

gdzie:  $U_{red}$  - zredukowana zawartość wody,  
 $u_r$  - równowagowa zawartość wody, gH<sub>2</sub>O/g s.s.,  
 $u_o$  - początkowa zawartość wody, gH<sub>2</sub>O/g s.s.,  
 $u_{\tau}$  - chwilowa zawartość wody, gH<sub>2</sub>O/g s.s.;  
 $L$  - grubość,  $s$  - szerokość,  $h$  – wysokość,  
 $\tau$  - czas, min,  
 $a_m$  - średni umowny współczynnik dyfuzji wody, m<sup>2</sup>/s.

Przebiegi krzywych suszenia, bez względu na rodzaj zastosowanej obróbki wstępnej i temperatury procesu, mają charakter wykładniczy (rys. 1) i opisane zostały ogólnym równaniem w następującej postaci:

$$\frac{u_{\tau} - u_r}{u_o - u_r} = \Psi \cdot e^{-K\tau}$$

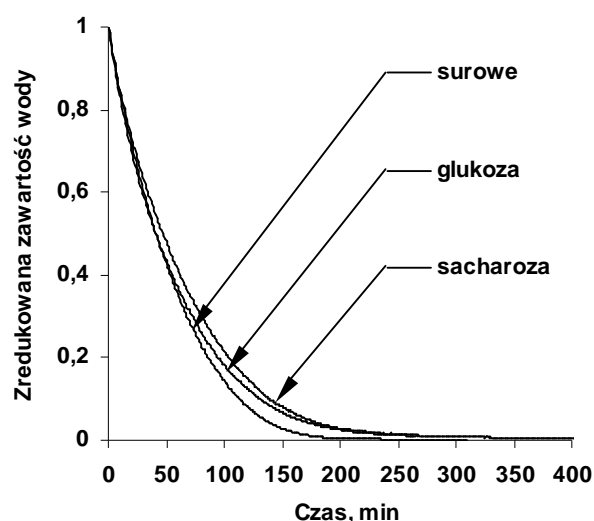
gdzie:  $\Psi = \frac{512}{\pi^6}$  - współczynnik kształtu

Zmiany parametrów odwadniania osmotycznego takich jak: rodzaj substancji osmotycznej oraz czas powodowały uzyskiwanie nieznacznie różnych końcowych zawartości wody. W celu dokonania analizy porównawczej przebiegów krzywych suszenia konwekcyjnego wprowadzono do ogólnego równania opisującego kinetykę suszenia współczynnik poprawkowy  $A$ . Pozwoliło to na uwzględnienie różnic w zawartościach wody w jabłkach odwadnianych osmotycznie, które następnie poddawano procesowi suszenia konwekcyjnego modyfikując równanie do postaci:

$$\frac{u_{\tau} - u_r}{u_o - u_r} = (\Psi - A) \cdot e^{-K\tau}$$

gdzie:  $A$  - współczynnik poprawkowy

Po uwzględnieniu w powyższym równaniu kształtu materiał wyjściowego (jabłko w postaci kostki sześcienniej) oraz zdefiniowanego powyżej współczynnika poprawkowego, jak też i warunków brzegowych powszechnie stosowanych w opisie wymiany ciepła i masy drugiego okresu suszenia w warunkach konwekcji [ Maroulis i wsp.1995] otrzymuje się nową zależność:



Rys. 1. Przebieg krzywych suszenia konwekcyjnego jabłek nieodwadnianych i odwadnianych w roztworach glukozy i sacharozy w temperaturze 30°C. Temperatura suszenia 70°C, prędkość powietrza suszącego 1,5 m/s

Fig. 1. Course of drying curves for the apples not dehydrated and dehydrated in saccharine solution at the temperature 30 deg C. Drying temperature 70 deg C, air flow velocity 1,5 m/s

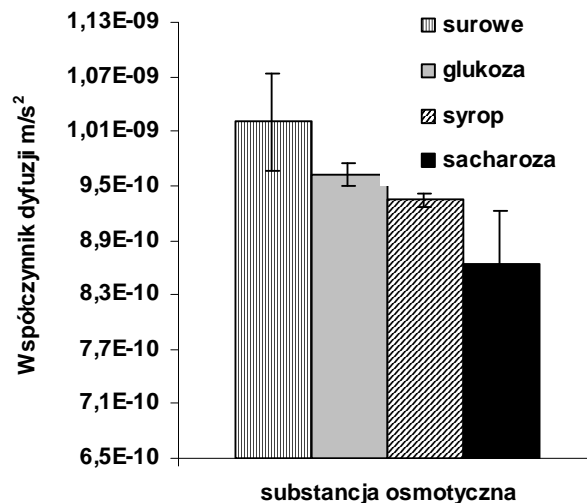
Zaproponowany opis matematyczny drugiego okresu suszenia pozwala na wyznaczenie średniego umownego współczynnika dyfuzji wody. Posługując się metodą regresji dla każdej serii pomiarowej wyznaczono stałą  $K$  według schematu:

$$\frac{u_{\tau} - u_r}{u_o - u_r} = \left( \frac{512}{\pi^6} - A \right) \cdot \text{EXP}(-K \cdot \tau)$$

gdzie:  $K = \frac{3 \cdot \pi^2 \cdot a_m}{L^2}$

Tak wyznaczone średnie umowne współczynniki dyfuzji wody  $a_m$  wyliczone na podstawie powyższych zależności pozwoliły pośrednio na ocenę wpływu parametrów odwadniania osmotycznego na dyfuzyjność tkanki roślinnej w czasie suszenia konwekcyjnego.

Na rysunku 2 przedstawiono zmianę średniego umownego współczynnika dyfuzji w zależności od rodzaju zastosowanej substancji osmotycznej. Stwierdzono, że odwadnianie osmotyczne bez względu na rodzaj substancji wpływa na obniżenie wartości średniego umownego współczynnika dyfuzji. Jednocześnie wykazano, że odwadnianie osmotyczne w roztworze sacharozy istotnie wpływa na zmianę warunków wymiany masy w czasie suszenia konwekcyjnego co w efekcie powoduje, że jabłka wysycone roztworem sacharozy mają najniższy średni umowny współczynnik dyfuzji wynoszący  $8,64 \cdot 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ . Wartości średnich umownych współczynników dyfuzji w jabłkach suszonych konwekcyjnie, a wstępnie odwadnianych w roztworach glukozy i syropu skrobiowego wynoszą odpowiednio  $9,63 \cdot 10^{-10}$  i  $9,34 \cdot 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$  i nie różnią się od siebie istotnie.

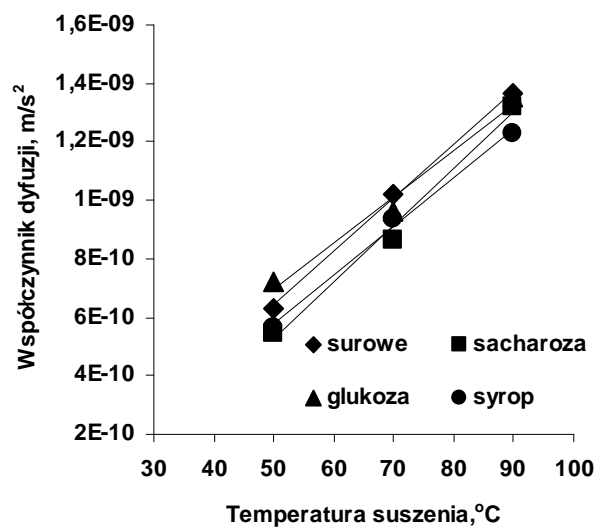


Rys. 2. Wpływ rodzaju substancji osmotycznej na średni umowny współczynnik dyfuzji wody w jabłkach suszonych konwekcyjnie po wstępnym odwadnianiu osmotycznym  
 Fig. 2. Apparent water diffusion coefficient for the apples dried by osmotic-convection method as affected by the kind of osmotic substance

Wykazano również, że wraz ze wzrostem temperatury suszenia w zakresie 50-90°C wzrasta średni umowny współczynnik dyfuzji wody w czasie suszenia jabłek bez względu na rodzaj zastosowanej substancji osmotycznej (rys. 3).

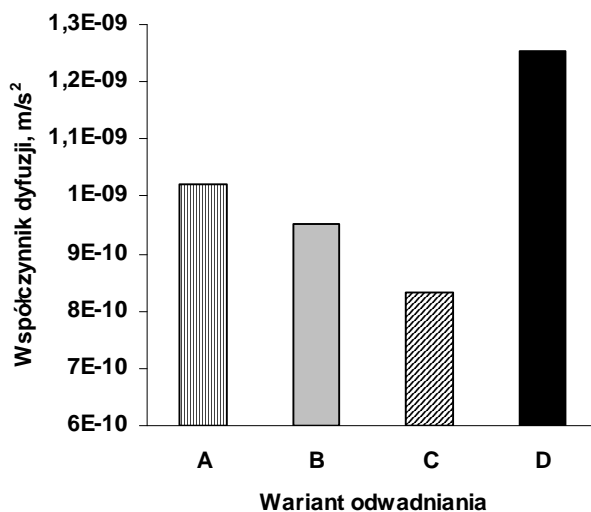
W celu dokładniejszego określenia wpływu odwadniania osmotycznego na zmiany dyfuzyjności tkanki jabłek w czasie suszenia konwekcyjnego zbadano wpływ czasu odwadniania. Stwierdzono, że odwadnianie prowadzone do 3h obniża średni umowny współczynnik dyfuzji wody w czasie suszenia (rys. 4).

Jednocześnie wykazano, że prowadzenie procesu dłużej (24h) nie powoduje wyraźnego ubytku wody w jabłkach, a jednocześnie znacznie zmienia strukturę wewnętrzną materiału (rys. 5) w porównaniu do jabłek odwadnianych 3 godzin oraz powoduje istotny wzrost średniego umownego współczynnika dyfuzji wody podczas suszenia(rys. 4).



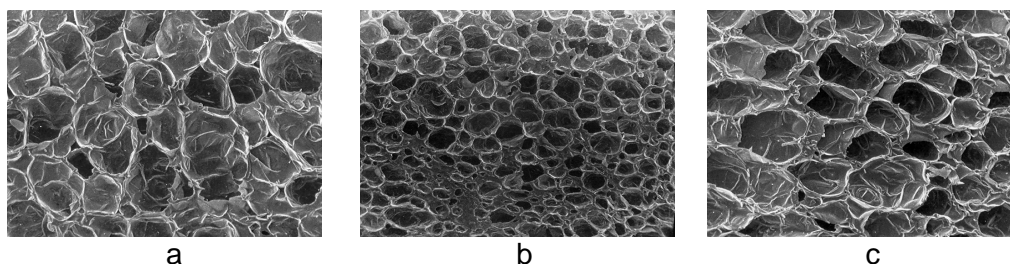
Rys. 3. Wpływ rodzaju substancji osmotycznej i temperatury suszenia konwekcyjnego na średni umowny współczynnik dyfuzji wody jabłek suszonych sposobem osmotyczno-konwekcyjnym

Fig. 3. Apparent water diffusion coefficient for the apples dried by osmotic-convection method as affected by the kind of osmotic substance and the temperature of convection drying



Rys. 4. Wpływ czasu odwadniania w roztworze sacharozy w temperaturze 30°C na średni umowny współczynnik dyfuzji wody jabłek suszonych konwekcyjnie. Wariant odwadniania: A – jabłka nie odwadniane osmotycznie, B – jabłka odwadniane 5 minut, C – jabłka odwadniane 3 godziny, D - jabłka odwadniane 24 godziny

Fig. 4. Effect of the time of dehydration in saccharine solution at the temperature 30 deg C on the apparent water diffusion coefficient for the apples dried by osmotic-convection method



Rys. 5. Struktura wewnętrzna jabłek suszonych konwekcyjnie w temperaturze 70°C po odwadnianiu osmotycznym w roztworze sacharozy: a - 5 minut, b - 3 godziny, c - 24 godziny

Fig. 5. Texture of the apple tissue convection dried at the temperature 70 deg C after osmotic dehydration in saccharine solution (a) for 5 min, (b) for 3 hrs, (c) for 24 hrs

## Wnioski

1. Odwadnianie osmotyczne jabłek wpływa istotnie na przebieg krzywych suszarniczych bez względu na zastosowaną temperaturę procesu. Jabłka odwadniane osmotycznie osiągają wyższą zawartość wody po upływie takiego samego czasu suszenia konwekcyjnego, jak również wyższą równowagową zawartość wody w porównaniu do

materiału nie odwadnianego. Czas suszenia konwekcyjnego wstępnie odwadnianych osmotycznie jabłek ulega wydłużeniu w granicach 35-50% w zależności od zastosowanych parametrów odwadniania osmotycznego.

2. Długi czas wstępnego odwadniania osmotycznego jabłek suszonych konwekcyjnie w roztworze sacharozy (24h) i wysoka temperatura procesu (70°C) powodują podwyższenie równowagowej w danych warunkach zawartości wody w jabłkach suszonych konwekcyjnie. Optymalny czas odwadniania osmotycznego nie powinien przekraczać 3h, a temperatura 30°C.
3. Średni umowny współczynnik dyfuzji wody w jabłkach podczas suszenia konwekcyjnego wzrasta wraz z podwyższaniem temperatury suszenia, bez względu na zastosowaną substancję osmotyczną w czasie wstępnego odwadniania. Czas odwadniania osmotycznego wpływa istotnie na wartość średniego umownego współczynnika dyfuzji wody w czasie suszenia konwekcyjnego jabłek. Największe obniżenie wartości średniego umownego współczynnika dyfuzji wody w jabłkach suszonych konwekcyjnie następuje po 3 godzinach odwadniania osmotycznego.

## Literatura

Hernandez J.A., Pavon G., Garcia M. A., 2000.: Analytical solution of mass transfer equation considering shrinkage for modelling food drying kinetics, *Journal of Food Engineering* 45, 1-10.

Janowicz, M., 2002, Znaczenie wybranych operacji wstępnych w utrwalaniu żywności za pomocą suszenia, *Przemysł Spożywczy*, 10 (56), 6-11.

Kowalska, H., Lenart, A., Janowicz, M., 2000, Wymiana masy w czasie odwadniania osmotycznego truskawek i wiśni, *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej – BEMS'2000*, Opole, *Mechanika* nr 254, 60, 135-142.

Maroulis, Z. B., Kiranoudis, C. T., & Marinos-Kouris, D. (1995). Heat and mass transfer modeling in air drying of foods. *Journal of Food Engineering*, 26, 113-130.

Matteo Di M., Cinquanta L., Galiero G., Crescitelli S., 2003.: A mathematical model of mass transfer in spherical geometry: plum (*Prunus domestica*) drying, *Journal of Food Engineering* 58, 183-192.

Valdez-Fragoso, A., Welti-Chanes, J., Giroux, F., 1998, Properties of a sucrose solution in osmotic dehydration of apples, *Drying Technology*, 16 (7), 1429-1445.

## DIFFUSIVITY OF OSMOTIC-CONVECTION DRIED PLANT TISSUE

### Summary

The aim of study was to analyze the influence of osmotic dehydration, kind of osmotic substance, temperature and time of dehydration of water diffusion in apple tissue during convection drying. It was found that the apparent water diffusion coefficient of apple tissue increased simultaneously with rising of drying temperature, irrespective of osmotic substance used at convection drying. The time of osmotic dehydration affected significantly the value of apparent water diffusion coefficient during drying of the apples.

**Key words:** apples, water diffusion, convection drying, osmotic dehydration.

Recenzent-Helena Lis