

MONIKA JANOWICZ, EWA DOMIAN, ANDRZEJ LENART,
WANDA POMARAŃSKA-ŁAZUKA

CHARAKTERYSTYKA SUSZENIA KONWEKCYJNEGO JABŁEK ODWADNIANYCH OSMOTYCZNIE W ROZTWORZE SACHAROZY

Streszczenie

Cel i zakres pracy obejmował określenie wpływu temperatury i prędkości powietrza w komorze suszarki konwekcyjnej oraz czasu odwadniania osmotycznego jabłek w roztworze sacharozy, w temperaturze 30 °C, na przebieg procesu i wybrane właściwości suszu: czas suszenia do osiągnięcia wilgotności suszu około 10 % oraz szybkość suszenia osiąganą przy tej wilgotności materiału, współczynnik dyfuzji wody, końcową (równowagową w danych warunkach suszenia) zawartość i aktywność wody otrzymanego suszu. Stwierdzono istotny wpływ temperatury na wybrane do analizy wskaźniki charakteryzujące proces suszenia i otrzymany susz jabłkowy w badanym zakresie zmienności temperatury, prędkości powietrza i czasu odwadniania osmotycznego. Analiza otrzymanych zależności pozwoliła wykazać, że wzrost temperatury suszenia w zakresie 55 – 85 °C powoduje zmniejszenie końcowej (równowagowej) zawartości i aktywności wody w suszach jabłkowych wstępnie odwadnianych osmotycznie. Jednocześnie podwyższenie temperatury suszenia spowodowało przyspieszenie procesu i skróciło czas potrzebny do uzyskania w produkcie wilgotności około 10 %.

Słowa kluczowe: susz jabłkowy, suszenie konwekcyjne, odwadnianie osmotyczne, plan eksperymentu

Wprowadzenie

Suszenie materiałów biologicznych bogatych w wodę jest pod wieloma względami procesem korzystnym. Zapewnia obniżenie aktywności wody, spowolnienie wielu reakcji enzymatycznych oraz ogranicza rozwój drobnoustrojów, co w efekcie powoduje utrwalenie produktu i polepszenie jego zdolności przechowalniczej. Jednocześnie następuje zmniejszenie masy i objętości materiału, co znacznie ułatwia przechowywanie i możliwość transportu.

Niekorzystne zmiany wywołane suszeniem można ograniczać przez odpowiedni dobór parametrów procesu, takich jak: temperatura, wilgotność i prędkość powietrza

Dr inż. M. Janowicz, dr inż. E. Domian, prof. dr hab. A. Lenart, mgr W. Pomarańska-Łazuka, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydz. Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa

oraz przez wstępne przygotowanie surowca. Suszenie poprzedzane odpowiednim procesem wstępnym, wpływa na zwiększenie atrakcyjności otrzymywanych produktów [1].

Do zalet żywności utrwalanej sposobem osmotyczno-konwekcyjnym należy możliwość utrzymania stabilności barwników podczas suszenia [8], zachowanie właściwości smakowych i zapachowych suszy, dzięki czemu uzyskuje się produkty akceptowane do bezpośredniego spożycia [3, 6].

Proces usuwania wody z surowców roślinnych na drodze odwadniania osmotycznego jest przedmiotem wielu badań nad przetwarzaniem i utrwalaniem zarówno owoców, jak i warzyw. Doświadczenia własne, jak i wielu innych badaczy [2, 3, 4], wskazują, że stosowane metody zmniejszania zawartości wody (odwadnianie osmotyczne, suszenia konwekcyjne i osmotyczno-konwekcyjne) w produktach żywnościowych powinny wywoływać nieznaczny wpływ na właściwości fizyczne, fizykochemiczne oraz strukturę uzyskanego gotowego produktu [1, 2, 5, 7].

Dotychczasowe badania nad zastosowaniem odwadniania osmotycznego, jako obróbki wstępnej przed suszeniem surowców roślinnych, w stałych, a następnie zmiennych i zróżnicowanych warunkach procesu, połączone z oceną właściwości fizykochemicznych suszu, wskazują na potrzebę dalszych prac nad modyfikacją operacji wstępnych w aspekcie optymalizacji procesu technologicznego z uwzględnieniem sposobów realizacji tych zabiegów i oczekiwanych cech jakościowych gotowego produktu [5, 9].

Cel i zakres pracy obejmował określenie wpływu temperatury i prędkości powietrza w komorze suszarki konwekcyjnej oraz czasu odwadniania osmotycznego jabłek, w roztworze sacharozy, w temp. 30 °C, na końcową (równowagową w danych warunkach suszenia) zawartość wody, czas suszenia do osiągnięcia wilgotności suszu około 10 % oraz szybkość suszenia osiąganą przy tej wilgotności materiału, współczynnik dyfuzji i aktywność wody otrzymanego suszu.

Materialy i metody badań

W badaniach użyto jabłek odmiany Idared, które krojono w kostki o boku 10 mm i poddawano suszeniu konwekcyjnemu po przeprowadzeniu obróbki osmotycznej w roztworze sacharozy o stężeniu 61,5 % (aktywność wody równa 0,9) w temp. 30 °C przez 12, 96 i 180 min. Suszenie konwekcyjne jabłek prowadzono w suszarce laboratoryjnej z wymuszonym przepływem powietrza, do uzyskania masy w danych warunkach suszenia przez 20 min trwania procesu. Ubytki masy (dokładność 0,01 g) rejestrowano w sposób ciągły, co 1 min, z wykorzystaniem programu komputerowego „Pomiar” pracującego w systemie DOS.

W celu określenia wpływu wybranych parametrów suszenia i odwadniania osmotycznego na cechy fizyczne suszu jabłkowego przeprowadzono doświadczenie czynni-

kowe obejmujące 11 eksperymentów ($11 = 2^k + 3$, gdzie $k = 3$ liczba zmiennych) [7]. Rozpatrywano wpływ: temperatury suszenia konwekcyjnego T , prędkości powietrza suszącego v , czasu odwadniania osmotycznego τ na końcową (równowagową w danych warunkach suszenia) zawartość wody u_r , czas suszenia do osiągnięcia wilgotności suszu około 10 % (zawartość wody w suszu zapewniająca trwałość produktu) τ_{10} oraz szybkość suszenia osiąganą w tym punkcie du/dt_{10} , współczynnik dyfuzji a_m i aktywność wody a_w otrzymanego suszu.

Poziomy zmian badanych czynników podczas doświadczenia i plan eksperymentu przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1

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

Experiment schedule according to coded variables of convective drying and osmotic dehydration parameters.

| Kodowane wartości zmiennych niezależnych Coded values of independent variables | Rzeczywiste wartości zmiennych niezależnych Real values of independent variables | | |
|---|---|-----------------------------|-----------------|
| | T [°C] | v [m·s ⁻¹] | τ [min] |
| +1 | 85 | 2 | 180 |
| 0 | 70 | 1,5 | 96 |
| -1 | 55 | 1 | 12 |
| Nr eksperymentu Experiment number | Plan eksperymentu według kodowanych zmiennych niezależnych Experiment schedule acc. to coded 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 |

Objaśnienia; / Explanatory notes:

T – temperatura suszenia konwekcyjnego / temperature of convective drying; v – prędkości powietrza suszącego / drying air flow rates; τ – czas odwadniania osmotycznego / osmotic dehydration time.

Zależności pomiędzy każdą zmienną zależną Y_i (u_r , τ_{10} , du/dt_{10} , a_m , a_w) a badanymi czynnikami suszenia B_i (T , v) i odwadniania (τ) wyrażano za pomocą równania regresji:

$$Y_i = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3$$

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

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

$$X_2 = (v - 1,5) \cdot 0,5^{-1}$$

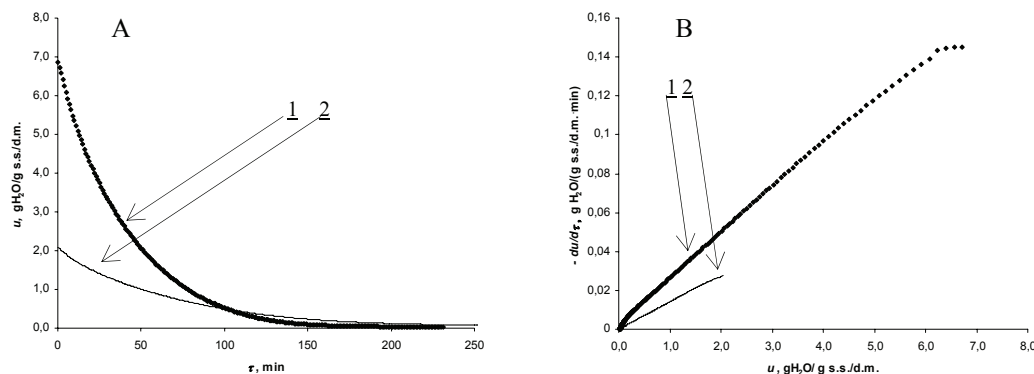
$$X_3 = (\tau - 96) \cdot 84^{-1}$$

Wszystkie analizy przeprowadzono przy użyciu programu Excel 2000 oraz Statistica ver. 8 za pomocą szczegółowej analizy danych w zakresie regresji wielokrotnej.

Wyniki i dyskusja

Wprowadzenie jako obróbki wstępnej przed suszeniem konwekcyjnym odwadniania osmotycznego powoduje zmiany przebiegu suszenia. Obserwuje się znaczne zmniejszenie początkowej zawartości wody w materiale (rys. 1 A), co związane jest z brakiem pierwszego okresu suszenia, w czasie którego następuje usuwanie wody z powierzchni materiału ze stałą szybkością (rys. 1 B). Jednocześnie odwadnianie osmotyczne zmienia warunki wymiany masy w czasie suszenia konwekcyjnego, powodując wydłużenie jego trwania, przy jednoczesnym uzyskaniu wyższych równowagowych zawartości wody w suszu (rys. 1). Mazza [5] wykazał, że obróbka osmotyczna marchwi w 60 % roztworze sacharozy wpływa na zmniejszenie szybkości suszenia konwekcyjnego o 20-25 %. Również w badaniach Janowicz i Lenarta [3] stwierdzono, że odwadnianie osmotyczne znacząco wpływa na przebieg procesu nagrzewania powierzchni jabłek w czasie suszenia konwekcyjnego, powodując skrócenie czasu osiągnięcia przez powierzchnię materiału porównywalnych temperatur. Szczególnie widoczne jest to wtedy, gdy jako substancji odwadniającej przed suszeniem użyje się roztworu sacharozy. Rajchert i wsp. [6], odwadniając dynię w roztworach syropu skrobiowego i sacharozy, wykazali, że wyższą szybkość suszenia uzyskuje się w przypadku wstępnego odwadniania w roztworze syropu skrobiowego. Uzasadnieniem tak przebiegającego procesu suszenia może być to, że cząsteczki syropu skrobiowego charakteryzują się dużymi rozmiarami, co powoduje wolniejsze wnikanie roztworu w głąb

tkanki i w większości usuwanie go z powierzchniowych warstw materiału w procesie płukania, przez co dyfuzja wody z wnętrza tkanki podczas suszenia przebiega szybciej niż w próbkach odwadnianych w roztworze sacharozы.



Rys. 1. Wpływ odwadniania osmotycznego na przebieg suszenia konwekcyjnego jabłek: 1 – surowe, 2 – odwadniane osmotycznie (u – zawartość wody [g H₂O·(g s.s.)⁻¹], τ – czas suszenia konwekcyjnego [min], $du/d\tau$ – szybkość suszenia konwekcyjnego [g H₂O·(g s.s.·min)⁻¹].

Fig. 1. Effect of osmotic dehydration on the convective drying process of apples: 1 – raw apples; 2 – osmotic dehydration (u – water content [g H₂O·(g d.m.)⁻¹], τ – time of convective drying [min], $du/d\tau$ – rate of convective drying [g H₂O·(g d.m.·min)⁻¹].

Do charakterystyki suszu oraz suszenia osmotyczno-konwekcyjnego jabłek z zastosowaniem sacharozы jako substancji osmotycznej, przeprowadzonej w aspekcie oceny przebiegu procesu, wybrano następujące wskaźniki: czas suszenia do osiągnięcia wilgotności suszu τ_{10} około 10 % oraz szybkość suszenia osiąganą w tym punkcie du/dt_{10} , współczynnik dyfuzji wody a_m , zawartość wody u_r , i aktywność wody a_w otrzymanego suszu. W tab. 2. przedstawiono wartości tych wskaźników otrzymane w poszczególnych eksperymentach. Zawartość równowagowa wody otrzymanych suszy w zależności od wariantu doświadczenia wahała się w granicach 0,0038 - 0,0911 g H₂O/g s.s., a ich aktywność wody zmieniała się w zakresie 0,227 - 0,622.

Przyjęto, że susz otrzymany z jabłek poddanych wstępnej obróbce osmotycznej, którego wilgotność waha się w granicach 10 - 12 % jest produktem trwałym, stabilnym mikrobiologicznie i odpowiednio przygotowywanym do dłuższego przechowywania. Czas i szybkość suszenia do osiągnięcia wilgotności na poziomie 10 % w suszach z jabłek odwadnianych osmotycznie przedstawiono w tab. 2., z uwzględnieniem różnych parametrów suszenia i czasu odwadniania osmotycznego. Czas suszenia wahał się w granicach od 108 do 394 min, a szybkość suszenia od 0,0012 do 0,0140 g H₂O·(g s.s.·min)⁻¹.

Tabela 2

Wybrane wskaźniki charakteryzujące proces suszenia konwekcyjnego oraz susz jabłkowy.
Some selected coefficients characterizing the process of convective drying and dried apples.

| Nr eksperymentu Experiment number | τ_{10} [min] | $-du/d\tau_{10}$ [g H ₂ O·(g s.s.·min) ⁻¹] [gH ₂ O·(g d.m.·min) ⁻¹] | a_m [m ² ·s ⁻¹] | u_r [gH ₂ O·(g s.s.) ⁻¹] [gH ₂ O·(g d.m.) ⁻¹] | a_w |
|--------------------------------------|----------------------|---|---|---|-------|
| 1 | 338 | 0,0014 | 5,22·10 ⁻¹⁰ | 0,0574 | 0,515 |
| 2 | 394 | 0,0010 | 5,05·10 ⁻¹⁰ | 0,0911 | 0,622 |
| 3 | 298 | 0,0012 | 5,02·10 ⁻¹⁰ | 0,0495 | 0,485 |
| 4 | 275 | 0,0015 | 6,98·10 ⁻¹⁰ | 0,0492 | 0,467 |
| 5 | 108 | 0,0028 | 1,56·10 ⁻⁹ | 0,0118 | 0,258 |
| 6 | 137 | 0,0026 | 1,38·10 ⁻⁹ | 0,0117 | 0,227 |
| 7 | 121 | 0,0026 | 1,36·10 ⁻⁹ | 0,0104 | 0,266 |
| 8 | 146 | 0,0029 | 1,16·10 ⁻⁹ | 0,0110 | 0,231 |
| 9 | 192 | 0,0015 | 9,00·10 ⁻¹⁰ | 0,0276 | 0,390 |
| 10 | 205 | 0,0014 | 8,28·10 ⁻¹⁰ | 0,0272 | 0,377 |
| 11 | 189 | 0,0012 | 9,11·10 ⁻¹⁰ | 0,0421 | 0,395 |

Objaśnienia: / Explanatory notes:

τ_{10} – czas suszenia do osiągnięcia wilgotności suszu około 10 % / time of convective drying necessary to achieve moisture content of about 10 %; $du/d\tau_{10}$ – szybkość suszenia osiągnięta dla suszu o wilgotności około 10 % / convective drying rate achieved for dried materials having about 10 % of moisture; a_m – współczynnik dyfuzji wody / water diffusion coefficient; u_r – końcowa (równowagowa w danych warunkach suszenia) zawartość wody / final (i.e. equilibrium under the specific drying conditions) water content; a_w – aktywność wody suszonych jabłek / water activity in dried apples.

Wskaźnikiem charakteryzującym proces suszenia jest współczynnik dyfuzji, od którego zależy szybkość dostarczania wody do powierzchni materiału w drugim okresie suszenia. W celu uproszczenia matematycznego opisu drugiego okresu suszenia wprowadzono normalizację kształtu suszonego materiału oraz cały szereg warunków brzegowych, z których trzy najważniejsze to: na początku suszenia w wilgotnym ciele stałym istnieje równomierny rozkład wilgoci, zawartość wody na powierzchni ciała staje się prawie natychmiast po rozpoczęciu suszenia równa równowagowej zawartości wody i pozostaje taka do końca suszenia, zewnętrzne warunki suszenia, jak również kształt i wymiary ciała nie ulegają zmianie w trakcie suszenia. Wprowadzone założenia pozwoliły wyznaczyć umowny współczynnik dyfuzji wody a_m w jabłkach suszonych konwekcyjnie wstępnie odwodnionych osmotycznie w roztworze sacharozy. Wartość współczynnika wahała się w zależności od wariantu doświadczenia od 0,50·10⁻¹⁰ do 1,56·10⁻⁹ m²·s⁻¹ (tab. 2).

Obserwowaną zmienność badanych wskaźników charakterystycznych dla suszy jabłkowych wstępnie odwadnianych osmotycznie w roztworze sacharozy przed suszeniem konwekcyjnym próbowano wyjaśnić zmiennością oddziaływania parametrów suszenia konwekcyjnego i odwadniania osmotycznego. Zestawiono wartości wszystkich współczynników regresji między analizowanymi wielkościami a rozpatrywanymi zmiennymi niezależnymi i po weryfikacji wyrazów statystycznie nieistotnych i ich eliminacji oraz po rozkodowaniu do wartości rzeczywistych zmiennych niezależnych otrzymano relacje zestawione w tab. 3.

Tabela 3

Współczynniki funkcji regresji $Y_i = b_0 + b_1 T + b_2 v + b_3 \tau$ dla badanych wskaźników suszy jabłkowego.

Coefficients of the regression function: $Y_i = b_0 + b_1 T + b_2 v + b_3 \tau$ for the studied coefficients of dried apples.

| Y_i | b_0 | b_1 | b_2 | b_3 | R^2 |
|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------|
| τ_{10} | 760,7* | -6,62* | -45* | 0,36404 | 0,92 |
| $-du/d\tau_{10}$ | 0,001408* | -0,000048* | -0,000050 | 0,0000008 | 0,91 |
| a_m | $-1,14 \cdot 10^{-9}$ * | $2,69 \cdot 10^{-11}$ * | $1,47 \cdot 10^{-10}$ * | $9,52 \cdot 10^{-13}$ | 0,93 |
| u_r | 0,173* | -0,00169* | -0,01191 | -0,00006 | 0,77 |
| a_w | 1,105* | -0,0092* | 0,0493 | -0,000013 | 0,91 |

*wartości statystycznie istotne na poziomie $p=0,05$ / statistically significant values at $p = 0.05$.

Tabela 4

Współczynniki zmiennej zależnej względem zmiennej niezależnej.

Coefficients of dependent variable relative to independent variable.

| Y_i | β_T | β_v | β_τ | SE |
|------------------|-----------|-----------|--------------|------------------------|
| τ_{10} | -0,935 | -0,212 | -0,004 | 26,678 |
| $-du/d\tau_{10}$ | 0,871 | 0,030 | -0,0425 | 0,0002 |
| a_m | 0,956 | 0,174 | -0,104 | $9,668 \cdot 10^{-11}$ |
| u_r | -0,888 | -0,209 | -0,091 | 0,0122 |
| a_w | -0,952 | -0,169 | -0,004 | 0,0394 |

Model regresji poddano weryfikacji merytorycznej i statystycznej [8]. Wyznaczone w celu weryfikacji merytorycznej współczynniki β informują, że zmiana zmiennej niezależnej o jedno odchylenie standardowe powoduje wzrost lub obniżenie wartości zmiennej zależnej o wartość $\beta_{(T, v, \tau)}$ jej odchylenia standardowego. Standardowy błąd estymacji SE pozwala oszacować przeciętną wielkość odchyłeń empirycznych wartości zmiennej zależnej od wartości wyliczonych z modelu (tab. 4). Weryfikację statystyczną przeprowadzono na podstawie analizy wariancji ze szczególnym uwzględnieniem

otrzymanych wartości poziomu istotności p informującego o istotności założenia hipotezy zerowej oraz interpretacją wartości R^2 (tab. 3) wyjaśniającą w jakim % stworzony model regresji odzwierciedla zmienności zmiennej zależnej [8].

Na podstawie analizy otrzymanych wyników stwierdzono, że temperatura suszenia wpłynęła statystycznie istotnie na wartość badanych wskaźników charakteryzujących badane susze jabłkowe i proces ich suszenia. Wzrost temperatury suszenia w badanym zakresie 55 - 85 °C spowodował zmniejszenie końcowej równowagowej zawartości i aktywności wody w suszach jabłkowych wstępnie odwadnianych osmotycznie. Jednocześnie im wyższa była temperatura suszenia, tym krótszy czas suszenia i większa szybkość uzyskania w produkcji wilgotności około 10 %.

Wartość współczynnika dyfuzji wody w jabłkach suszonych w analizowanych eksperymentach zależała głównie od temperatury suszenia, ale również od prędkości powietrza suszącego w komorze suszarki.

Wnioski

1. Odwadnianie osmotyczne na skutek dwukierunkowości procesu wymiany masy powoduje zmniejszenie początkowej zawartości wody w jabłkach, a jednocześnie wnikający w miejsce usuniętej wody roztwór osmotyczny wywołuje zmiany składu chemicznego tkanki owoców, co w efekcie istotnie zmienia przebieg suszenia konwekcyjnego.
2. W badanym zakresie zmienności temperatury, szybkości suszenia i czasu odwadniania osmotycznego stwierdzono istotny wpływ tylko temperatury suszenia na wybrane wskaźniki charakteryzujące proces suszenia i otrzymany susz jabłkowy.
3. Zmiany: równowagowej zawartości wody w badanych suszach z jabłek, czasu suszenia do osiągnięcia wilgotności około 10 % oraz aktywności wody są odwrotnie proporcjonalne do wzrostu temperatury suszenia w zakresie 55 - 85 °C, natomiast szybkość suszenia do osiągnięcia w suszu z jabłek wilgotności 10 % oraz współczynnik dyfuzji wody wzrastają wraz z podwyższaniem temperatury procesu.

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 VI Konferencji Naukowej nt. „Nowoczesne metody analityczne w zapewnieniu jakości i bezpieczeństwa żywności”, Warszawa, 6 - 7 grudnia 2007 r.

Literatura

- [1] Janowicz M., Kowalska H., Pomarańska-Lazuka W., Lenart, A.: Odwadnianie osmotyczne owoców o zróżnicowanej strukturze. Inż. Roln. Cz. I, 2002, **5 (38)**, 449-453.
- [2] Janowicz M., Lenart A.: Wpływ odwadniania osmotycznego na przebieg suszenia konwekcyjnego jabłek. Cz. 1. i 2. Inż. Roln., 2001, **12, (32)**, 89-100 i 101-108.

- [3] Janowicz M.: Znaczenie wybranych operacji wstępnych w utrwalaniu żywności za pomocą suszenia. *Przem. Spoż.*, 2002, **10 (56)**, 6-11.
- [4] Kowalska H., Lenart A., Leszczyk D.: The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *J. Food Eng.*, 2008, **86**, 30-38.
- [5] Mazza G.: Dehydration of carrots. Effect of pre-drying treatment on moisture transport and product quality. *J. Food Technol.*, 1983, **18**, 113-123.
- [6] Rajchert D., Lewicki P.P., Pałacha Z., Sitkiewicz I.: Kinetyka suszenia konwekcyjnego warzyw wstępnie odwodnionych osmotycznie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 2005, zesz. **430**, 205-209.
- [7] Sacchetti G., Gianotti A., Dalla Rosa M.: Sucrose-salt combined effect on mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatment. *J. Food Eng.*, 2001, **49**, 163-173.
- [8] Stanisz A.: *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATYSTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 2. Modele liniowe i nieliniowe.* Wyd. StatSoft Polska Sp. z o.o. Kraków 2007.
- [9] Sumnu G., Turabi E., Oztop M.: Drying of carrots in microwave and halogen lamp-microwave combination ovens. *LWT-Food Sci. and Technol.*, 2005, **38**, 549-553.

PROFILE OF CONVECTIVE DRYING PROCESS OF OSMOTICALLY DEHYDRATED APPLES IN SUCROSE SOLUTION

S u m m a r y

The objective and scope of the paper included the determination of the effect of three factors on the drying process and on some selected properties of the dried material. The 3 factors analyzed were: temperature; air flow rate in the drying chamber of convective dryer; osmotic dehydration time of apples in sucrose solution at a temperature of 30 °C. The selected parameters were: drying time necessary to achieve 10 % moisture in the dried material and drying rate being achieved at this moisture level; water diffusion coefficient, final content (i.e. equilibrium content under the specific drying conditions) and activity of water in the dried material produced. It has been proved that the temperature has a significant effect on the selected and analyzed parameters characterizing the drying process, as well as on the dried apples produced in the investigated range of variability of temperature, air flow rate and osmotic dehydration time. Based on the analysis of dependencies obtained, it was possible to prove that the increase in drying temperature ranging from 55 to 85 °C caused the final (equilibrium) water content and the activity of dried apples being osmotically pre-treated to decrease. At the same time, the increase in the drying temperature caused the drying process to accelerate and the time necessary to obtain 10 % moisture to be reduced.

Key words: dried apples, convective drying, osmotic dehydration, experiment schedule ☒