

WPLYW ODWADNIANIA OSMOTYCZNEGO NA POROWATOŚĆ JABŁEK SUSZONYCH KONWEKCYJNIE*

Ewa Domian, Monika Janowicz, Andrzej Lenart, Wanda Pomarańska-Lazuka

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności, SGGW
ul. Nowoursynowska 159c, 02-787 Warszawa
e-mail: ewa_domian@sggw.pl

Streszczenie. W pracy analizowano wpływ czasu odwadniania w roztworze sacharozy i syropu skrobiowego oraz temperatury i prędkości powietrza suszącego na skurcz, gęstość i porowatość otrzymanych suszy z jabłek. Suszenie jabłek metodą osmotyczno-konwekcyjną, umożliwiło otrzymanie produktu o mniejszym skurczu i deformacji kształtu cząstek w porównaniu do suszenia bez obróbki osmotycznej. Parametry suszenia osmotyczno-konwekcyjnego, głównie temperatura suszenia, miały wpływ na gęstość pozorną i porowatość otwartą suszy z jabłek.

Słowa kluczowe: jabłko, odwadnianie osmotyczne, gęstość, porowatość

WSTĘP

Zadaniem suszenia jest obniżenie aktywności wody do poziomu, przy którym pogarszanie się jakości żywności przebiega dostatecznie wolno, aby mogła być składowana przez długi czas i dogodnie transportowana. Jednak podczas samego suszenia są możliwe zmiany jakości materiału. Pogarszanie się jakości wynika z parametrów istotnych w procesie suszenia takich jak: wysoka temperatura, przegrupowanie składników, wewnętrzny przepływ masy oraz sam proces usuwania wody (Witrowa-Rajchert i Lewicki 2006). Wśród zmian najpowszechniej związanych z procesem suszenia znajdują się: zmiany tekstury wynikające z usuwania wody i sieciowania składników polimerowych, utrata aromatu i obniżenie wartości odżywczej lub jakości spowodowane reakcjami chemicznymi, w szczególności brązowaniem nieenzymatycznym (Lewicki 1998, Prothon i in. 2003). Jakość żywności suszonej jest często limitowana zmianami tekstury i zdolności

*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).

rehydracji (Witrowa-Rajchert i Lewicki 2006). W przypadku materiałów roślinnych utrata integralności komórkowej oraz krystalizacja polimerów są uważane za główne przyczyny tych zmian (Lewicki 1998). Na zwiększoną rehydrację wpływa większa porowatość materiału. W wielu przypadkach żywność o zwiększonej porowatości wchłania znaczne ilości wody podczas rehydracji, ale woda ta może być słabo utrzymywana w strukturze materiału, na skutek obniżenia zdolności wiązania wody (Witrowa-Rajchert i Lewicki 2006).

Suszenie produktów spożywczych jest procesem często poprzedzonym czynnościami dodatkowymi zapewniającymi zachowanie właściwości organoleptycznych, czy uzyskanie wymaganych właściwości końcowego produktu (Janowicz i Lenart 2007). Wstępne odwadnianie osmotyczne owoców, przez zmianę składu chemicznego, wywołanie określonych zmian strukturalnych oraz zmienne stężenie substancji osmotycznej w przestrzeni próbki, wpływa na właściwości fizyczne i teksturę otrzymanego suszu (Lewicki i Lenart 2007, May i Perre 2002). Półprzepuszczalna naturalna błona komórkowa uniemożliwia wniknięcie cukru do wnętrza owocu. Kawałki owoców odwodnione osmotycznie, a następnie suszone powietrzem charakteryzują się mniejszą kurczliwością i lepszą teksturą niż produkty suszone wyłącznie powietrzem (Janowicz i Lenart 2007, Lewicki 1998).

Cel i zakres pracy obejmuje analizę wpływu zarówno parametrów odwadniania, jak i suszenia konwekcyjnego na gęstość i porowatość otrzymanych suszy z jabłek.

MATERIAŁY I METODY

Badania przeprowadzono na jabłkach odmiany Idared. Jabłka pokrojone w kostki sześciennie o boku 10 mm (około 200 kostek) odwadniano w roztworach sacharozy (61,5%) i syropu skrobiowego (67,5%) o stężeniu odpowiadającym aktywności wody 0,9, w temperaturze 30°C, przez czas 12, 96 i 180 min, przy stosunku masy surowca do roztworu osmotycznego 1:4. Suszenie konwekcyjne prowadzono w prototypowej suszarce laboratoryjnej w pojedynczej warstwie przy wilgotności względnej powietrza 60-70%, prędkości przepływu powietrza 1, 1,5 i 2 m·s⁻¹ i temperaturze 55, 70 i 85°C.

W celu określenia wpływu wybranych parametrów suszenia konwekcyjnego (temperatury t i prędkości powietrza suszącego v) i odwadniania osmotycznego (czasu odwadniania τ) na gęstość i porowatość otrzymanych suszy z jabłek przeprowadzono doświadczenie czynnikowe obejmujące 11 eksperymentów ($11 = 2k+3$, gdzie $k = 3$ liczba zmiennych). Poziomy zmian badanych czynników podczas doświadczenia i plan eksperymentów zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Schemat eksperymentu według zmiennych parametrów suszenia konwekcyjnego i odwadniania osmotycznego

Table 1. Osmo-convective drying variables and experimental design levels

Poziomy zmiennych kodowanych Levels of coded values	Rzeczywiste wartości zmiennych niezależnych Actual 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 Run number	Schemat eksperymentu Experimental design		
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

Gęstość rzeczywistą ρ , to jest gęstość materiału stałego tworzącego cząstkę suszu, obliczano na podstawie zawartości poszczególnych składników, uwzględniając wnikanie substancji osmotycznej do tkanki jabłek:

$$\rho = \frac{100}{\frac{w}{\rho_w} + \frac{(100-w)}{\rho_{ss}} \frac{1}{1+SG} + \frac{(100-w)}{\rho_{os}} \frac{SG}{1+SG}} \quad (1)$$

gdzie: w – zawartość wody, %; ρ_w – gęstość wody 1020 kg·m⁻³; ρ_{ss} – gęstość suchej substancji jabłek 1547 kg·m⁻³; ρ_{os} – gęstość suchej substancji cieczy osmotycznej 1580 kg·m⁻³; SG - przyrost suchej substancji w jabłkach podczas odwadniania osmotycznego, kg·kg_{s.s.}

Gęstość suchej substancji jabłek obliczono z zależności (May i Perre 2002):

$$\rho_{ss} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\rho_i}} \quad (2)$$

gdzie x_i i ρ_i – zawartość i gęstość składnika i suchej substancji jabłek; odpowiednio: białko 2% i $1400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, tłuszcz 2% i $930 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, cukry 91,4% i $1580 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, błonnik 4,6% i $1440 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Gęstość pozorną cząstek suszy ρ_s wyznaczano przy użyciu piknometru helowego Stereopycnometer/Quantachrome Instruments, gęstość cząstek suszy ρ_b metodą piknometryczną stosując toluen.

Porowatość całkowitą ε_t i otwartą ε_o suszy z jabłek obliczano na podstawie gęstości rzeczywistej ρ oraz gęstości cząstek ρ_s i ρ_b :

$$\varepsilon_t = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho}\right) \cdot 100\% \quad (3)$$

$$\varepsilon_o = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}\right) \cdot 100\% \quad (4)$$

Skurcz s podczas odwadniania i suszenia obliczano z zależności:

$$s = \left(1 - \frac{V_k}{V_0}\right) \cdot 100\% \quad (5)$$

gdzie V_k , V_0 – średnia objętość kostki jabłka, odpowiednio końcowa (piknometr z toluenem) i początkowa (1 cm^3).

Zależności pomiędzy każdą zmienną zależną Y_i (s , ρ_s , ρ_b , ε_t , ε_o) a badanymi czynnikami suszenia (t , v) i odwadniania (τ) w formie kodowanej (wartości -1 , 0 lub $+1$) wyrażano za pomocą równania regresji:

$$Y_i = b_0 + b_1t + b_2v + b_3\tau \quad (6)$$

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 i odwadniania nie wpływają w sposób istotny na skurcz, gęstość i porowatość otrzymanych suszy.

WYNIKI

W tabelach 2 i 3 zestawiono wartości skurczu, gęstości i porowatości suszy z jabłek otrzymywanych w poszczególnych eksperymentach suszenia osmotycz-

no-konwekcyjnego. W tabeli 4 przedstawiono charakterystykę suszy z jabłek otrzymywanych w analogicznych warunkach suszenia bez zastosowania wstępnego odwadniania.

Tabela 2. Charakterystyka fizyczna suszy z jabłek wstępnie odwadnianych w roztworze sacharozy

Table 2. Physical properties of dried apples with an osmotic pre-treatment in sucrose solution

Eksperyment Run	w (%)	SG ($\text{kg}\cdot\text{kg}_{\text{d.m.}}^{-3}$)	s (%)	ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	ρ_b ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	ρ_s ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	ε_t (%)	ε_o (%)
1	5,43	0,563	66	1517	582	1131	62	49
2	8,35	1,025	63	1498	743	1210	50	39
3	4,72	1,025	61	1527	582	1094	62	47
4	4,69	0,563	64	1523	578	1203	62	52
5	1,17	1,025	67	1555	557	613	64	9
6	1,16	0,563	63	1551	592	609	62	3
7	1,03	1,025	62	1556	570	578	63	2
8	1,09	0,563	64	1552	523	564	66	7
9	2,69	0,980	61	1543	567	988	63	43
10	2,65	0,980	61	1543	635	999	59	36
11	4,04	0,980	56	1532	652	974	57	33

Tabela 3. Charakterystyka fizyczna suszy z jabłek wstępnie odwadnianych w roztworze syropu skrobiowego

Table 3. Physical properties of dried apples with an osmotic pre-treatment in starch syrup solution

Eksperyment Run	w (%)	SG ($\text{kg}\cdot\text{kg}_{\text{d.m.}}^{-3}$)	s (%)	ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	ρ_b ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	ρ_s ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	ε_t (%)	ε_o (%)
1	6,0	0,188	66	1508	474	1182	69	60
2	5,9	0,311	68	1510	514	1034	66	50
3	5,9	0,311	62	1510	492	1211	67	59
4	4,6	0,188	75	1518	462	818	70	44
5	1,7	0,311	67	1543	417	475	73	12
6	1,9	0,188	73	1540	517	611	66	15
7	1,7	0,311	71	1543	420	465	73	10
8	1,1	0,188	69	1545	464	521	70	11
9	2,7	0,250	67	1534	418	558	73	25
10	2,3	0,250	67	1537	427	642	72	33
11	3,4	0,250	69	1529	549	734	64	25

Tabela 4. Charakterystyka fizyczna suszy z jabłek bez wstępnego odwadniania
Table 4. Physical properties of dried apples without osmotic pre-treatment

Eksperyment Run	w (%)	SG (kg·kg _{d.m.} ⁻³)	s (%)	ρ (kg·m ⁻³)	ρ _b (kg·m ⁻³)	ρ _s (kg·m ⁻³)	ε _t (%)	ε _o (%)
1, 2	5,7	–	69	1503	434	883	71	51
3, 4	4,4	–	72	1513	446	817	71	45
5, 6	1,5	–	76	1536	550	866	64	37
7, 8	1,0	–	69	1540	470	836	69	44
9, 10, 11	2,8	–	76	1525	460	850	70	46

Obserwowaną zmienność skurczu, gęstości i porowatości próbowano wyjaśnić zmiennością oddziaływania parametrów procesu. W tabeli 5 zestawiono wartości współczynników regresji między analizowanymi wielkościami, a rozpatrywanymi zmiennymi niezależnymi w postaci zakodowanej.

Tabela 5. Zestawienie współczynników regresji $Y_i = b_0 + b_1t + b_2v + b_3\tau$ (wartości kodowane) dla badanych fizycznych właściwości suszy z jabłek wstępnie odwadnianych

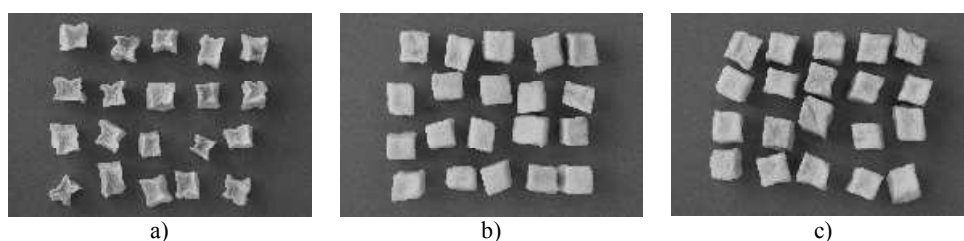
Table 5. Coefficients in regression equation $Y_i = b_0 + b_1t + b_2v + b_3\tau$ for physical properties of osmo-convective dried apples (using coded values of independent variables)

Y _i	Odwadnianie w roztworze sacharozy Osmotic dehydration in sucrose solution					Odwadnianie w roztworze syropu skrobiowego Osmotic dehydration in starch syrup solution				
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ²	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ²
s	62,4	0,2	0,0	-0,4	0,020	68,4	1,1	0,5	-1,9	0,359
ρ _b	593,8	-30,4	-7,6	28,2	0,361	467,1	0,0	0,0	0,0	0,128
ρ _s	884,3	-284,3*	33,6	27,9	0,856*	750,0	-271,8*	-10,8	6,8	0,777*
ε _t	60,6	2,0	0,5	-1,8	0,356	70,7	1,0	-0,1	0,6	0,128
ε _o	27,7	-20,7*	3,5	-0,1	0,842*	31,3	-20,6*	0,0	0,2	0,920*

*wartości istotne na poziomie p = 0,05 – significant at p = 0.05 probability level.

Bezpośrednio po suszeniu jabłka wykazywały niską zawartość wody nie przekraczającą 8%. Skurcz s, świadczący o naprężeniach występujących w tkance podczas suszenia, przyjmował wartości niższe dla jabłek wstępnie odwadnianych w porównaniu do materiału bez obróbki i zależnie od wariantu doświadczenia wynosił od 56 do 66% dla jabłek odwadnianych w roztworze sacharozy, od 62 do 75% w roztworze syropu skrobiowego i od 69 do 76% bez odwadniania. Ponadto zapadanie się i kurczenie struktury materiału wstępnie odwadnianego wiązało z mniejszą deformacją kształtu kostek podczas suszenia jabłek (rys. 1). Podobne zależności zmniejszania skurczu na skutek odwadniania zanotowano w literaturze (Lewicki i Lenart 2007,

Mavroudis i in. 1998, Prothon i in. 2003). Podczas odwadniania osmotycznego występuje jednoczesny ubytek wody z tkanki i wnikanie do niej roztworu osmotycznego. Przyrost suchej substancji jabłka SG zależnie od czasu odwadniania przyjmował wartości od 0,563 do 1,025 $\text{kg}\cdot\text{kg}_{\text{d.m.}}^{-3}$ dla roztworu glukozy oraz od 0,188 do 0,311 $\text{kg}\cdot\text{kg}_{\text{d.m.}}^{-3}$ dla syropu skrobiowego. Zmiany struktury i skurcz podczas suszenia stanowią bardzo złożone zagadnienie i są bezpośrednio związane z usuwaniem wody, wynikają w wielu przypadkach z sieciowania składników polimerowych, przegrupowania składników i wewnętrznego przepływu masy (Lewicki 1998).



Rys. 1. Zdjęcia suszy z jabłek: a) bez odwadniania, b) wstępnie odwadnianych w roztworze sacharozy, c) wstępnie odwadnianych w roztworze syropu skrobiowego

Fig. 1. Pictures of dried apples: a) without osmotic pre-treatment, b) osmotic dehydration in sucrose solution, c) osmotic dehydration in starch syrup solution

Przestrzenne rozmieszczenie struktur wewnątrz tkanki i skład chemiczny decydują o jej gęstości i porowatości (tab. 2-4). Obróbka wstępna jabłek poprzez odwadnianie przyczyniła się do otrzymywania suszy o podobnej porowatości całkowitej ε_t i niższej porowatości otwartej cząstek ε_0 w porównaniu z suszem nieodwadnianym. Zależnie od temperatury suszenia, susze z jabłek wstępnie odwadnianych charakteryzowały się większą lub mniejszą gęstością ich cząstek ρ_b i gęstością pozorną cząstek ρ_s w porównaniu z suszem z jabłek nieodwadnianych. Analizowane zmienne parametry procesowe (czas odwadniania τ oraz temperatura t i prędkość powietrza suszącego v), nie miały istotnego wpływu na porowatość całkowitą ε_t cząstek suszy i ich gęstość ρ_b . Porowatość całkowita cząstek suszy kształtowała się w granicach od 64 do 71% dla jabłek suszonych bez obróbki osmotycznej, od 50 do 66% dla jabłek z wstępną obróbką w roztworze sacharozy oraz od 64 do 73% dla jabłek wstępnie odwadnianych w roztworze syropu skrobiowego. Temperatura suszenia miała istotny wpływ na pozorną gęstość cząstek ρ_s i porowatość otwartą ε_0 suszy z jabłek (tab. 5). Wzrost temperatury suszenia t w zakresie 55- 85°C skutkowało zmniejszeniem pozornej gęstości cząstek ρ_s . Świadczy to o wzrastającym udziale powietrza w gęstości ρ_s i jest spowodowane zmniejszeniem porowatości otwartej ε_0 , która wynosiła od 37 do 52% dla jabłek suszonych bez obróbki osmotycznej, od 2 do 52% dla jabłek wstępnie odwadnianych w roztworze glukozy oraz od 10 do 60% dla jabłek odwadnianych w roztworze syropu skrobiowego. Zmniejszenie porowatości otwartej suszy jabłek, może mieć decydujący wpływ na odtwarzalność materiału podczas rehydracji (Lewicki i 1998, Witrowa-Rajchert i Lewicki 2006).

WNIOSKI

1. Suszenie jabłek metodą osmotyczno-konwekcyjną, umożliwia otrzymanie produktu o mniejszym skurczu i deformacji kształtu cząstek w porównaniu do suszenia bez obróbki osmotycznej.
2. Proces odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozy lub syropu skrobiowego poprzedzający suszenie oraz wzrost temperatury suszenia przyczyniają się do zmniejszenia pozornej gęstości cząstek suszy z jabłek i ich porowatości otwartej.

PIŚMIENNICTWO

- Janowicz M., Lenart A., 2007. Rozwój i znaczenie operacji wstępnych w suszeniu żywności. W: Właściwości Fizyczne Suszonych Surowców i Produktów Spożywczych (red. Dobrzański B. jr, Mieszkalski L.). Komitet Agrofizyki PAN, Wyd. Nauk. FRNA, 15-34.
- Lewicki P.P., Lenart A., 2007. Osmotic dehydration of fruit and vegetables. In: Handbook of Industrial Drying (Eds. A.S. Mujumdar), 665-688.
- Lewicki P.P., 1998. Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: a review. *Int. J. Food Properties*, 1, 1-22.
- Mavroudis N.E., Gekas V., Sjöholm I., 1998. Osmotic dehydration of apples. Shrinkage phenomena and the significance. *J. Food Eng.*, 38, 101-123.
- May B.K., Perre P., 2002. The importance of considering exchange surface area reduction to exhibit a constant drying flux period in foodstuff. *J. Food Eng.*, 54, 271-282.
- Prothon F., Ahrne L., Sjöholm I., 2003. Mechanisms and prevention of plant tissue collapse during dehydration: a critical review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 43(4), 447-479.
- Witrowa-Rajchert D., Lewicki P. P., 2006. Rehydration properties of dried plant tissues. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 41, 1040-1046.

INFLUENCE OF OSMOTIC DEHYDRATION ON POROSITY
OF CONVECTIVE DRIED APPLES

Ewa Domian, Monika Janowicz, Andrzej Lenart, Wanda Pomarańska-Lazuka

Department of Food Engineering and Process Management,
Warsaw University of Life Sciences (SGGW)
ul. Nowoursynowska 159c, 02-787 Warszawa
e-mail: ewa_domian@sggw.pl

Abstract. The effect of dehydration time in sucrose and starch syrup solutions, as well as temperature and velocity of drying air, on shrinkage, density and porosity of dried apples was investigated. Osmo-convective drying of apples permitted the obtainment of a product with smaller shrinkage and deformation of shape of segments compared to drying without osmotic processing. Changes of osmo-convective parameters, mainly the drying temperature, had influence on apparent density and open porosity of dried apples.

Keywords: apple, osmotic dehydration, density, porosity