

CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH  
PROSZKU JABŁKOWEGO OTRZYMANEGO  
METODĄ SUSZENIA PIANOWO-SUBLIMACYJNEGO\*

*Ewa Jakubczyk, Ewa Gondek, Karolina Głód*

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,  
Wydział Nauk o Żywności, SGGW  
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa  
e-mail: ewa\_jakubczyk@sggw.pl

**Streszczenie.** Celem pracy było określenie wpływu dodatku maltodekstryny i zawartości cukru w surowcu na właściwości fizyczne proszku jabłkowego uzyskanego poprzez suszenie pianowo-sublimacyjne soku i koncentratu jabłkowego. Spieniony sok i koncentrat jabłkowy z 2% albuminy i dodatkiem maltodekstryny w zakresie od 0 do 40% mrożono i suszono sublimacyjnie. Susz rozdrabniano i badano właściwości fizyczne otrzymanego proszku: gęstość nasypową i utrzęsioną, gęstość cząstek, porowatość, zwilżalność i rozpuszczalność oraz higroskopijność. Zwiększenie dodatku maltodekstryny od 10 do 40% wpływało na zmniejszenie higroskopijności, gęstości nasypowej i utrzęsionej, poprawę sypkości proszków z soku jabłkowego. Wyższa zawartość cukru w koncentracie sprzyjała lepszemu rozpuszczalności i zwilżalności proszków, co mogło wynikać z większej porowatości i mniejszej gęstości złoża.

**Słowa kluczowe:** koncentrat jabłkowy, suszenie sublimacyjne, właściwości fizyczne

#### WSTĘP

Suszenie soków i koncentratów owocowych umożliwia uzyskanie produktu w proszku, który jest wygodny w dalszej obróbce, transporcie i przechowywaniu. Proszki owocowe znajdują wykorzystanie w produkcji zarówno napojów, wyrobów cukierniczych (Khalil i in. 2002), lodów i jogurtów (Komes i in. 2007), a ich walory smakowo-zapachowe sprawiają, że są doskonałym składnikiem sosów, żywności dla dzieci, czy ekstrudowanych produktów zbożowych (Pszczola, 2003, Grabowski i in. 2008).

---

\* Praca finansowana ze środków MNiSW w latach 2007-2009 jako projekt nr N312247833.

Suszenie soków i pulp owocowych jest utrudnione ze względu na wysoką zawartość związków niskocząsteczkowych takich jak, cukry i kwasy organiczne, które mogą stanowić nawet 90% suchej substancji suszonego materiału (Roos 1995, Bhandari i in. 1997). Substancje występujące w sokach owocowych, m.in. glukoza, fruktoza oraz kwasy jabłkowy i cytrynowy, charakteryzują się niską temperaturą przemiany szklistej, co istotnie wpływa na wysoką higroskopijność proszków (Bhandari i in. 1997, Tonon i in. 2009). Surowce spożywcze wysuszone rozpyłowo i sublimacyjnie zawierają cukry w stanie amorficznym, w którym materiał łatwo chłonie wilgoć z otoczenia i ulega zbryleniu (Pałacha i Sitkiewicz 2008). Ograniczenie niekorzystnych cech materiałów, a szczególnie higroskopijności, jest możliwe poprzez dodatek substancji nośnikowej o wysokiej masie cząsteczkowej, np. maltodekstryny wpływającej na podwyższenie temperatury przejścia fazowego produktu (Ross 1995, Jaya i Das 2005).

Suszenie sublimacyjne umożliwia otrzymanie proszków owocowych o wysokiej jakości sensorycznej i strukturalnej. Susze sublimacyjne charakteryzują się doskonałym zachowaniem oryginalnego aromatu i zapachu, mają lepszą rozpuszczalność i dłuższy okres przydatności do spożycia. Wadą suszenia sublimacyjnego jest jego wysoki koszt wynikający z długiego czasu suszenia pod obniżonym ciśnieniem (Ratti 2001, Raharitsifa i Ratti 2010b).

Jedną z technik, która z powodzeniem może być stosowana do suszenia materiałów o wysokiej zawartości cukrów i dużej lepkości jest suszenie pianowe (Ratti i Kudra 2006). Suszenie pianowe obejmuje kilka etapów: przygotowanie stabilnej piany zawierającej produkt, suszenie piany do formy cienkiej warstwy, oraz rozdrobnienie wysuszonego materiału (Karim i Wai 1999). Suszenie spienionych materiałów umożliwia zachowanie dużej szybkości procesu i skrócenie czasu suszenia ze względu na otwartą strukturę piany. Materiały suszone pianowo charakteryzują się dobrymi właściwościami rekonstrycyjnymi i wysokim stopniem zachowania związków lotnych (Kudra i Ratti, 2006). W stanie spienionym suszono soki i pulpy owocowe wykorzystując suszenie owiewowe (Rajkumar i in. 2007, Thuwapanichayanan i in. 2008), mikrofalowo-konwekcyjne (Jakubczyk 2009), oraz sublimacyjne (Raharitsifa i Ratti 2010a). Niewielu autorów podjęło próbę opisu cech materiału po suszeniu pianowym, a szczególnie takich ważnych cech fizycznych jak, gęstość, rozpuszczalność, czy higroskopijność suszu.

Celem pracy było określenie wpływu dodatku maltodekstryny i zawartości cukru w surowcu na właściwości fizyczne proszku jabłkowego uzyskanego poprzez suszenie pianowo-sublimacyjne soku i koncentratu jabłkowego.

## MATERIAŁY I METODY

Materiał badawczy stanowił koncentrat jabłkowy (70°Brix) (Binder International, Tarczyn) oraz sok jabłkowy (12 °Brix), który przygotowano przez rozcieńczenie koncentratu wodą destylowaną. Do każdego materiału dodano 2% albuminy z jaja kurzego (Biochemika) oraz maltodekstrynę niskoscukrzoną (Pepees S.A.) w ilości: 0, 10, 20, 30 lub 40% w stosunku do suchej substancji zawartej w surowcu badawczym. Spienianie materiału prowadzono z prędkością 3000 obr·min<sup>-1</sup> przez 15 minut za pomocą miksera laboratoryjnego. Przed suszeniem, pianę umieszczoną na aluminiowych tacach w warstwie 10 mm mrożono owiewowo w temperaturze powietrza -70°C. Suszenie sublimacyjne prowadzono w liofilizatorze Christ typu Gamma 1-16LSC pod ciśnieniem 63 Pa przy temperaturze półki 10°C przez 20 godzin. Dosuszenie materiału prowadzono w temperaturze 45°C przez 4 godziny przy ciśnieniu 1 Pa. Materiał po suszeniu rozdrabniano za pomocą blendera kuchennego.

W proszkach określono zawartość wody (metodą suszenia pod obniżonym ciśnieniem w 70°C przez 24 godziny) i aktywność wody (w aparacie Rotronic-Hygroscop DT). Określono również inne parametry fizyczne proszków: gęstość nasypową luźną  $\rho_b$  (na podstawie masy i objętości materiału luźno usypanego), gęstość nasypową utręzioną  $\rho_t$  (gęstość określoną po 1250 postukiwaniach objętościomierza wstrząsowego STAV 2003 Engelsmann HG, Germany), gęstość cząstek  $\rho_p$  wyznaczono przy zastosowaniu piknomietru helowego Stereopycnometer (Quantachrome Instruments, USA). Na podstawie uzyskanych gęstości obliczono współczynniki Hausnera (HR) i Carra (CI) oraz porowatość  $\varepsilon$ .

$$HR = \frac{\rho_t}{\rho_b} \quad (1)$$

$$CI = \frac{(\rho_t - \rho_b)}{\rho_t} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{\rho_p - \rho_t}{\rho_p} \cdot 100\% \quad (3)$$

Zwilżalność oznaczano zgodnie z metodyką podaną przez Jinapong i in. (2008), jako czas potrzebny do zwilżenia wszystkich cząstek proszku zawartych w masie 0,1 g.

Rozpuszczalność (Rs) określono jako czas (s) po jakim 1 g proszku ulegał całkowitemu rozpuszczeniu w 25 ml wody destylowanej o temperaturze 20°C przy zastosowaniu mieszadła magnetycznego obracającego się z prędkością 800 obr·min<sup>-1</sup>.

Rozpuszczalność (R%) wyznaczono na podstawie metodyki podanej przez Ane-ma i in. (2006), sporządzając roztwór 5% proszku w wodzie destylowanej. Po całkowitym rozpuszczeniu proszku, próbkę materiału odwirowywano przez 10 minut w wirówce laboratoryjnej, a następnie oznaczano zawartość suchej substancji w skla-rowanym płynie znad osadu. Rozpuszczalność wyliczono jako procentowy udział masy materiału ulegającej rozpuszczeniu w stosunku do masy proszku.

Higroskopijność proszków określono jako końcową zawartość wody (g wody/100 g s.s) w proszkach po 2 dniach przechowywania w ekcykatorze o aktywności wody środowiska  $a_w = 0,753$  w temperaturze  $25^\circ\text{C}$ .

Badania właściwości fizycznych przeprowadzono w 4 powtórzeniach. Analizę statystyczną wyników przeprowadzono w programie Statgraphics. Wykonano analizę wariancji i porównanie średnich testem Duncana przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

#### WYNIKI I DYSKUSJA

W badaniach wstępnych podjęto próbę suszenia sublimacyjnego koncentratu jabłkowego bez dodatku środka spieniającego i maltodekstryny, ale uzyskany po suszeniu materiał był bardzo higroskopijny i po wyjęciu z suszarki ulegał natychmiastowemu zbryleniu. Rozdrobnienie suszonego sublimacyjnie materiału do formy proszku było możliwe wówczas, gdy materiał był suszony w stanie spienionym tak z, jak i bez dodatku maltodekstryny.

W tabeli 1 przedstawiono zawartości wody i aktywności wody w badanych proszkach. W zależności od zastosowanego surowca i dodatku nośnika średnia zawartość wody w proszkach jabłkowych mieściła się w zakresie od 1,9 do 8,8%. Aktywność wody suszonego soku obejmowała wartości od 0,090 do 0,106, a dla suszonego koncentratu od 0,044 do 0,109.

Dodatek maltodekstryny zarówno do soku jak i koncentratu wpływał na cechy fizyczne produktu końcowego. Proszki bez maltodekstryny charakteryzowały się wyższymi wartościami zawartości wody, gęstości cząstek oraz gęstości nasypowej i utręzionej niż proszki z nośnikiem (tab.1, 2). Wraz ze wzrostem dodatku maltodekstryny od 10 do 40% zwiększała się zawartość wody w proszkach jabłkowych. Adhikari i in. (2004), badając kinetykę suszenia układów modelowych zawierających substancje niskocząsteczkowe, obserwowali zmniejszenie szybkości suszenia po dodaniu maltodekstryny i wyższe końcowe zawartości wody przy wzroście stężenia nośnika. Duże molekuly maltodekstryny utrudniały dyfuzję wody, co spowalniało istotnie proces suszenia.

Wzrost udziału maltodekstryny w stosunku do suchej substancji soku jabłkowego wpływał na stopniowe zmniejszenie gęstości nasypowej (luźnej) jak i gęstości utręzionej (tab. 1). Obniżenie gęstości nasypowej wraz ze wzrostem stężenia nośnika obserwowali również Goula i Adamopoulos (2010) dla suszonego

rozpyłowo koncentratu soku pomarańczowego. Maltodekstryna może spełniać funkcję ochronną ograniczając zlepianie się cząstek i zmniejszanie się przestrzeni międzycząstkowych. Dodatkowo wzrost stężenia maltodekstryny prowadzi do zwiększenia objętości powietrza zamkniętego w cząstkach proszku (Shrestha i in. 2007, Goula i Adamopoulos 2010).

**Tabela 1.** Wybrane właściwości fizyczne suszonego soku i koncentratu jabłkowego z różnym dodatkiem maltodekstryny

**Table 1.** Selected physical properties of dried apple juice and concentrate with different levels of maltodextrin addition

Suszony materiał Dried material	Dodatek maltodekstryny Maltodextrin addition (%)	Zawartość wody Water content (%)	Aktywność wody Water activity	Gęstość nasypowa Bulk density (g·cm <sup>-3</sup> )	Gęstość utrzesiona Tapped density (g·cm <sup>-3</sup> )
Sok Juice	0	8,8 <sup>a</sup>	0,100 <sup>a</sup>	0,55 <sup>a</sup>	0,69 <sup>a</sup>
	10	1,9 <sup>b</sup>	0,106 <sup>b</sup>	0,44 <sup>b</sup>	0,63 <sup>b</sup>
	20	2,8 <sup>c</sup>	0,104 <sup>b</sup>	0,48 <sup>b</sup>	0,64 <sup>b</sup>
	30	4,2 <sup>d</sup>	0,090 <sup>c</sup>	0,36 <sup>c</sup>	0,49 <sup>c</sup>
	40	5,4 <sup>e</sup>	0,096 <sup>a</sup>	0,36 <sup>c</sup>	0,49 <sup>c</sup>
Koncentrat Concentrate	0	4,7 <sup>c</sup>	0,044 <sup>d</sup>	0,29 <sup>d</sup>	0,37 <sup>d</sup>
	10	2,2 <sup>b</sup>	0,078 <sup>e</sup>	0,24 <sup>e</sup>	0,30 <sup>e</sup>
	20	3,0 <sup>c</sup>	0,072 <sup>e</sup>	0,23 <sup>e</sup>	0,31 <sup>e</sup>
	30	2,7 <sup>c</sup>	0,104 <sup>b</sup>	0,24 <sup>e</sup>	0,32 <sup>e</sup>
	40	3,9 <sup>d</sup>	0,109 <sup>f</sup>	0,25 <sup>e</sup>	0,32 <sup>e</sup>

Wartości średnie oznaczone tą samą literą w kolumnach nie różnią się między sobą statystycznie istotnie przy  $\alpha = 0,05$  — Mean values followed by the same letter in the columns do not differ significantly at  $\alpha = 0.05$ .

Analiza statystyczna wykazała, że zwiększenie dodatku nośnika w zakresie od 10 do 40% przy suszeniu koncentratu jabłkowego nie wpływało istotnie na gęstość nasypową i utrzesioną oraz gęstość cząstek. Proszek uzyskany w wyniku suszenia soku jabłkowego charakteryzował się wyższymi wartościami gęstości nasypowej i utrzesionej w porównaniu do proszku z koncentratu.

Zastosowanie dodatku maltodekstryny wpływało na wzrost porowatości złoża, współczynnik Carra dla wszystkich badanych proszków mieścił się w zakresie od 20 do 30,1%, a dla większości badanych materiałów współczynnik Hausnera nie przekraczał 1,4, co świadczyło o umiarkowanie dobrej sypkości proszków (tab. 2).

**Tabela 2.** Gęstość cząstek, porowatość oraz współczynniki Carra i Hausnera proszków jabłkowych z różnym dodatkiem maltodekstryny

**Table 2.** Particle density, porosity, Carr index and Hausner ratio of apple powders with different maltodextrin addition

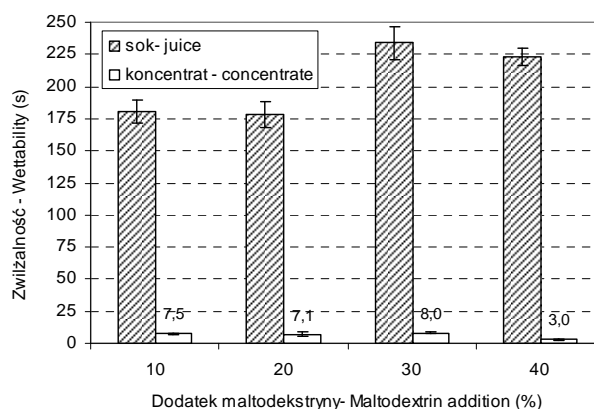
Suszony materiał Dried material	Dodatek malto- dekstryny Maltodextrin addition (%)	Gęstość cząstek Particle density (g·cm <sup>-3</sup> )	Porowatość Porosity (%)	Współczynnik Carra Carr index (%)	Współczynnik Hausnera Hausner ratio (-)
Sok Juice	0	1,27 <sup>a</sup>	45,6 <sup>a</sup>	20,3 <sup>a</sup>	1,25 <sup>a</sup>
	10	1,21 <sup>b</sup>	47,9 <sup>b</sup>	30,1 <sup>b</sup>	1,43 <sup>b</sup>
	20	1,22 <sup>b</sup>	47,5 <sup>b</sup>	25,0 <sup>c</sup>	1,33 <sup>c</sup>
	30	1,18 <sup>c</sup>	58,5 <sup>c</sup>	26,5 <sup>c</sup>	1,36 <sup>c</sup>
	40	1,17 <sup>c</sup>	58,1 <sup>c</sup>	26,5 <sup>c</sup>	1,36 <sup>c</sup>
Koncentrat Concentrate	0	1,18 <sup>d</sup>	68,6 <sup>d</sup>	21,6 <sup>a</sup>	1,27 <sup>a</sup>
	10	1,11 <sup>e</sup>	72,8 <sup>e</sup>	20,0 <sup>a</sup>	1,25 <sup>a</sup>
	20	1,11 <sup>e</sup>	72,1 <sup>e</sup>	25,8 <sup>c</sup>	1,34 <sup>c</sup>
	30	1,09 <sup>e</sup>	70,6 <sup>c</sup>	25,0 <sup>c</sup>	1,33 <sup>c</sup>
	40	1,12 <sup>e</sup>	71,4 <sup>e</sup>	25,0 <sup>c</sup>	1,28 <sup>a</sup>

Wartości średnie oznaczone tą samą literą w kolumnach nie różnią się między sobą statystycznie istotnie przy  $\alpha = 0,05$  – Mean values followed by the same letter in the columns do not differ significantly at  $\alpha = 0.05$ .

Rysunek 1 przedstawia zwilżalność proszków w zależności od zastosowanego dodatku maltodekstryny. Czas zwilżania suszonego soku jabłkowego wydłużał się przy wyższych dodatkach maltodekstryny (30-40%). Analogiczną tendencję uzyskały Domian i Bialik (2006) w badaniach proszku jabłkowego uzyskanego metodą suszenia rozpyłowego. Inaczej kształtowała się zwilżalność proszku przygotowanego na bazie koncentratu jabłkowego, przy 40% dodatku nośnika czas zwilżania był najkrótszy. Wszystkie proszki z koncentratu charakteryzowały się znacznie lepszą zwilżalnością w porównaniu z proszkami uzyskanymi z soku, co wynikać może z większego stężenia cukrów w koncentracie. Shittu i Lawal (2007) oraz Kowalska i Lenart (2005) badając kakao w proszku stwierdzili, że wraz ze wzrostem ilości cukru w materiale, czas zwilżania ulegał skróceniu.

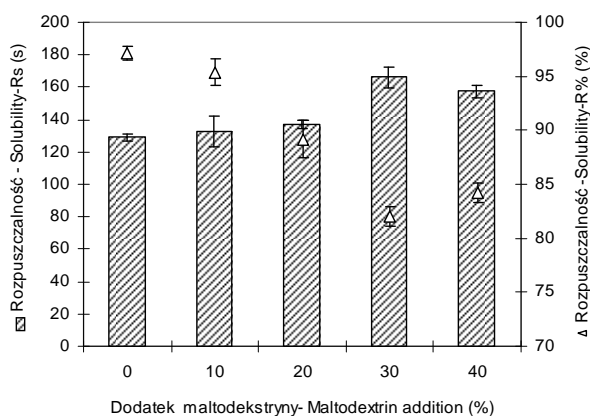
Rozpuszczalność proszków (określona zarówno jako wartość procentowa substancji ulegającej rozpuszczeniu, jak i czas rozpuszczania) z soku jabłkowego z dodatkiem 30 i 40% maltodekstryny była istotnie statystycznie mniejsza od rozpuszczalności pozostałych badanych proszków (rys. 2). Ponad 15% proszku nie rozpuszczało się, co dyskwalifikuje taki materiał jako produkt wygodny w użyciu.

Dobrze rozpuszczał się proszek z koncentratu jabłkowego bez dodatku maltodekstryny i proszek z 40% dodatkiem nośnika (rys. 3). Jednocześnie, czas rozpuszczania suszonego koncentratu był nawet kilkakrotnie krótszy niż proszku przygotowanego na bazie soku jabłkowego. Lepiej rozpuszczały się proszki o większym udziale substancji rozpuszczalnych (np. cukrów). Yu (2001) oraz Cano-Chauca i in. (2005) podkreślają, że stan amorficzny składników suchej substancji sprzyja wysokiej rozpuszczalności proszków w porównaniu ze stanem krystalicznym.



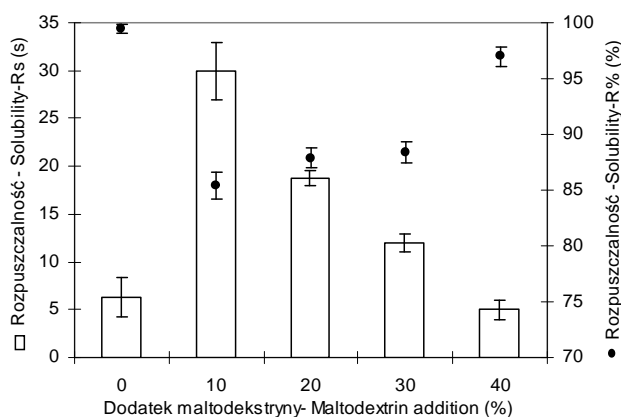
**Rys. 1.** Zwilżalność proszków otrzymanych przez suszenie pianowo-sublimacyjne soku i koncentratu jabłkowego o różnym dodatku maltodekstryny (podane wartości są średnimi z odchyleniami standardowymi)

**Fig. 1.** Wettability of powders produced by foam-freeze drying of apple juice and concentrate with different levels of maltodextrin addition (values represent means  $\pm$  standard deviations)



**Rys. 2.** Rozpuszczalność (Rs, R%) proszków otrzymanych przez suszenie pianowo-sublimacyjne soku jabłkowego o różnym dodatku maltodekstryny (podane wartości są średnimi z odchyleniami standardowymi)

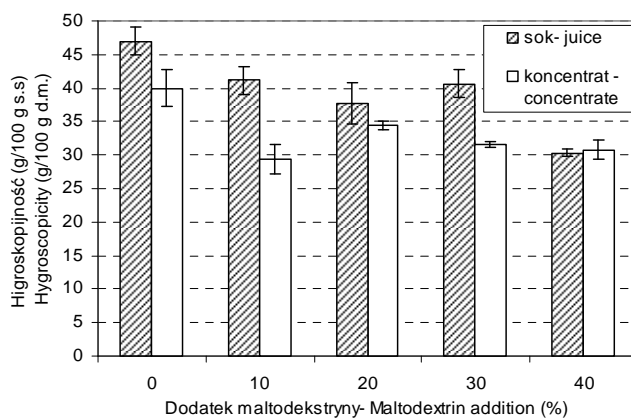
**Rys. 2.** Solubility (Rs, R%) of powders produced by foam-freeze drying of apple juice with different levels of maltodextrin addition (values represent means  $\pm$  standard deviations)



**Rys. 3.** Rozpuszczalność (Rs, R%) proszków otrzymanych przez suszenie pianowo-sublimacyjne koncentratu jabłkowego o różnym dodatku maltodekstryny (podane wartości są średnimi z odchyleniami standardowymi)

**Fig. 3.** Solubility of powders produced by foam-freeze drying of apple concentrate with different levels of maltodextrin addition (values represent means  $\pm$  standard deviations)

Higroskopijność badanych proszków malała wraz ze wzrostem dodatku maltodekstryny (rys 4.), aczkolwiek suszony sublimacyjnie spieniony koncentrat charakteryzował się mniejszą podatnością na chłonięcie wody i mniejszym stopniem zbrzylenia od proszku z soku jabłkowego. Jaya i Das (2004) susząc próżniowo sok z mango stwierdzili, że wzrost ilości dodanej maltodekstryny wpływał na ograniczenie higroskopijności i przylepności (stickness) proszków owocowych.



**Rys. 4.** Higroskopijność proszków otrzymanych przez suszenie pianowo-sublimacyjne soku i koncentratu jabłkowego o różnym dodatku maltodekstryny (podane wartości są średnimi z odchyleniami standardowymi)

**Fig. 4.** Hygroscopicity of powders produced by foam-freeze drying of apple juice and concentrate with different levels of maltodextrin addition (values represent means  $\pm$  standard deviations)



## WNIOSKI

1. Suszenie sublimacyjne spienionych soków i koncentratów to metoda umożliwiająca uzyskanie proszków jabłkowych bez dodatku maltodekstryny. Aczkolwiek duża higroskopijność i podatność na zbrylanie ogranicza ich praktyczne wykorzystanie w produkcji żywności.

2. Wzrost dodatku maltodekstryny w zakresie od 10 do 40% wpływał na zmniejszenie higroskopijności, gęstości nasypowej i utręsionej, poprawę sypkości proszków uzyskanych z soku jabłkowego (mniejsze wartości współczynników Hausnera i Carra). W przypadku zwilżalności i rozpuszczalności proszków za optymalny uznano 20% dodatek nośnika.

3. Dodatek maltodekstryny w zakresie stężeń 10-40% do koncentratu nie wpływał istotnie na gęstość nasypową i utręsioną oraz porowatość proszku, ale decydował o krótszym czasie zwilżania i rozpuszczania proszków. Wśród badanych proszków, uzyskanych na bazie koncentratu, ze względu na cechy instant (błyskawiczna rozpuszczalność i zwilżalność, niższa higroskopijność) optymalny dodatek maltodekstryny wynosił 40%.

4. Wyższa zawartość cukru i składników suchej substancji w koncentracie sprzyjała lepszej rozpuszczalności i zwilżalności materiału, co mogło wynikać z większej porowatości złoza i mniejszej gęstości proszków.

## PIŚMIENNICTWO

- Adhikari B., Howes T., Bhandari B.R., Truong V., 2004. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modeling. *Journal of Food Engineering*, 62, 53-68.
- Anema S.G., Pinder D.N., Hunter R.J., Hemar, Y., 2006. Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). *Food Hydrocolloids*, 20, 386-393.
- Bhandari B.R., Datta N., Howes T., 1997. Problem associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15, 671-684.
- Cano-Chauca M., Stringheta P.C., Ramos A.M., Cal-Vidal J., 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 420-428.
- Domian E., Bialik E., 2006. Wybrane właściwości fizyczne soku jabłkowego w proszku. *Acta Agrophysica*, 8(4), 803-814.
- Goula A.M., Adamopoulos K.G., 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 342-351
- Grabowski, J.A., Truong, V., Daubert, C.R., 2008. Nutritional and rheological characterization of spray dried sweet potato powder. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 41, 206-216.
- Jakubczyk, E., 2009. Charakterystyka suszenia konwekcyjno-mikrofalowego spienionego przecieru jabłkowego. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 15(4), 199-206.
- Jaya S., Das H., 2004. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, 63, 125-134.

- Jaya S., Das H., 2005. Accelerated storage, shelf life and color of mango powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 29, 45-62.
- Jinapong N., Supphantharika M., Jamnong P., 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84, 194-205.
- Karim A.A., Wai C.C., 1999. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola L.*) puree. Stability and air drying characteristics. *Food Chemistry*, 64, 337-343.
- Khalil, K.E., Mostafa, M.F., Saleh, Y.G., Nagib, A.I., 2002. Production of mango powder by foam-drying of the juice. *Egyptian Journal of Food Science*, 30(1), 23-41.
- Komes D., Lovrić T., Kovačević Ganić K., 2007. Aroma of dehydrated pear products. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 40, 1578-1586.
- Kowalska J., Lenart A., 2005. The influence of ingredients distribution on properties of agglomerated cocoa products. *Journal of Food Engineering*, 68, 155-161
- Kudra T., Ratti C., 2006. Foam-mat drying: Energy and cost analyses. *Canadian Biosystems Engineering*, 48(3), 27-32.
- Pałacha Z., Sitkiewicz I., 2008. Temperatura przemiany szklistej- parametr stabilności żywności. *Przemysł Spożywczy*, 9, 32-37.
- Pszczola, D. E., 2003. Delivery systems help send the right message. *Food Technology*, 57(4), 68-85.
- Raharitsifa, N., Ratti, C., 2010a. Foam-mat freeze-drying of apple juice. Part 1: Experimental data and ANN simulations. *Journal of Food Process Engineering*, 33, 268-283.
- Raharitsifa, N., Ratti, C., 2010b. Foam-mat freeze-drying of apple juice. Part 2: Stability of dry products during storage. *Journal of Food Process Engineering*, 33, 341-364.
- Rajkumar P., Kailappan R., Viswanathan R., Raghavan G.S.V., 2007. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. *Journal of Food Engineering*, 79, 1452-1459.
- Ratti C., 2001. Hot air and freeze drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, 49, 311-319.
- Ratti, C., Kudra, T. 2006. Drying of foamed biological materials: Opportunities and challenges. *Drying Technology*, 24, 1101-1108.
- Roos, Y.H., 1995. *Phase Transitions in Foods*. Academic Press, San Diego.
- Shittu T.A., Lawal M.O., 2007. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. *Food Chemistry*, 10, 91-98.
- Shrestha, A. K., Ua-arak, T., Adhikari, B. R., Howes, T., Bhandari, B. R., 2007. Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *International Journal of Food Properties*, 10, 661-673.
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn S., Soponronnarit S., 2008. Drying characteristics and quality of banana foam mat. *Journal of Food Engineering*, 86, 573-583.
- Tonon, R.V., Baroni A.F., Brabet, C., Gibert, O., Pallet, D., Hubinger, M. D., 2009. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea Mart.*) juice. *Journal of Food Engineering*, 94, 215-221.
- Yu, L., 2001. Amorphous pharmaceutical solids: Preparation, characterization and stabilization. *International Journal of Pharmaceutics*, 48, 27-42.

---

CHARACTERISTICS OF PHYSICAL PROPERTIES OF APPLE POWDER  
PRODUCED BY FOAM-MAT FREEZE-DRYING METHOD

*Ewa Jakubczyk, Ewa Gondek, Karolina Głód*

Department of Food Engineering and Process Management,  
Faculty of Food Sciences, SGGW  
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa  
e-mail: ewa\_jakubczyk@sggw.pl

**Abstract.** The aim of his work was to determine the effect of maltodextrin addition and sugar concentration in raw material on the physical properties of apple powder produced by foam-mat freeze-drying method. Foamed apple juice and concentrate with 2% albumin and maltodextrin at rates ranging from 0 to 40% were freeze-dried. Dried material was ground and selected physical properties of powders were investigated: bulk and tapped density, particle density, bulk porosity, wettability and solubility, and hygroscopicity. The increase of maltodextrin addition from 10 to 40% resulted in a decrease of hygroscopicity, bulk and tapped density, while flowability of apple juice powders was improved. The higher concentration of sugars in apple concentrate led to an increase in wettability and solubility of powders due to lower bulk density and higher bulk porosity.

**Key words:** apple concentrate, freeze drying, physical properties