

## IZOTERMY SORPCJI PARY WODNEJ PROSZKU JABŁKOWEGO UZYSKANEGO METODĄ SUSZENIA PIANOWEGO\*

*Ewa Gondek, Ewa Jakubczyk*

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji  
Wydział Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa  
e-mail: ewa\_gondek@sggw.pl

**Streszczenie.** Wyznaczono izotermy sorpcji pary wodnej proszku jabłkowego uzyskanego poprzez suszenie przecieru. Spieniony przecier z dodatkiem metylocelulozy i albuminy suszono konwekcyjnie, sublimacyjnie, mikrofalowo, a następnie rozdrabniano w młynku laboratoryjnym. Sublimacyjnie suszono również przecier niespieniany i spieniany z dodatkiem maltodekstryny. Izotermy sorpcji pary wodnej wyznaczono metodą statyczno-eksykatorową. Uzyskano izotermy III typu według klasyfikacji Brunauera, które opisano czteroparametrowym równaniem Pelega. Wykazano, że tak metoda suszenia jak i forma w jakiej suszony jest przecier nie wpływały na przebieg izoterm sorpcji proszku jabłkowego. Dodatek maltodekstryny do przecieru spowodował obniżenie równowagowych zawartości wody w produkcie.

Słowa kluczowe: przecier jabłkowy, suszenie pianowe, izotermy sorpcji pary wodnej

### WSTĘP

Suszenie pianowe umożliwia uzyskanie w stosunkowo krótkim czasie sproszkowanej żywności o dobrych cechach jakościowych. Pozwala ono na znaczne skrócenie czasu suszenia, ze względu na otwartą strukturę piany i dobre warunki dla ruchu masy. Materiał spieniony suszyć można różnymi technikami: konwekcyjną, sublimacyjną, mikrofalową, a także z użyciem promieniowania podczerwonego i pod obniżonym ciśnieniem, a w rezultacie w dużym stopniu kształtować cechy produktu (Tsami i in. 1999). Gama produktów, do których stosowane jest

---

\*Praca finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007-2009 jako projekt badawczy nr N312247833.

suszenie pianowe znacznie się w ostatnich latach poszerzyła, bardzo często suszy się w stanie spienionym soki i przeciera owocowe (Jakubczyk i Wnorowska 2008, Jaya i Das 2004, Kudra i Ratti 2006, Sankat i Castaigne 2004, Sharma i in. 2004). Cechą uzyskanych z nich proszków jest duża higroskopijność i podatność na zbrylanie się pod wpływem sorpcji pary wodnej z otoczenia.

Właściwości sorpcyjne proszków to jeden z najważniejszych parametrów wpływających na jakość produktu, jego przydatność do produkcji żywności oraz stabilność przechowalniczą (Gabas i in. 2007). Zdolność do chłonięcia wody przez materiał jest determinowana przez jego skład chemiczny i strukturę. Izotermy sorpcji, które są zależnością zawartości wody w produkcie od aktywności wody stanowią źródło wielu cennych informacji dotyczących stanu wody w materiale. Znajomość przebiegu izoterm sorpcji pozwala, między innymi, na określenie charakteru czynników wpływających na psucie się żywności, wyznaczenie optymalnej dla materiału zawartości i aktywności wody, projektowanie zarówno procesów przetwórczych jak i składu żywności wieloskładnikowej. Izotermy sorpcji umożliwiają również teoretyczną interpretację zjawisk fizycznych, które zachodzą na granicy produkt substancja lotna (Sinija i Mishra 2008, Pałacha 2007, Gondek i Lewicki 2005)

Celem niniejszej pracy była analiza właściwości sorpcyjnych sproszkowanego suszu jabłkowego uzyskanego poprzez suszenie przeciera, oraz stwierdzenie czy spienianie przeciera przed suszeniem, metoda suszenia i dodatek maltodekstryny wpływają na przebieg izoterm sorpcji pary wodnej.

#### MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowił przecier jabłkowy (16,5 Brix). Przecier spieniano, za pomocą ręcznego miksera laboratoryjnego, z dodatkiem albuminy, metylocelulozy i maltodekstryny oraz bez dodatków. Uzyskaną pianę suszono różnymi technikami zachowując jednakową we wszystkich eksperymentach grubość warstwy wynoszącą 4 mm. Charakterystykę poszczególnych wariantów materiału przedstawiono w tabeli 1.

Suszenie sublimacyjne prowadzono w liofilizatorze Christ typu Alpha 1-4 pod ciśnieniem 63 Pa przy temperaturze półki z zakresu 5-25°C. Materiał przed suszeniem mrożono owiewowo w temperaturze -40°C.

Suszenie konwekcyjne materiału umieszczonego na tacach aluminiowych o wymiarach 16 x 13,5 cm prowadzono w suszarce konwekcyjnej w temperaturze 60°C, przy prędkości powietrza 1,2 m·s<sup>-1</sup>.

Suszenie mikrofalowo-konwekcyjne prowadzono w 40°C przy prędkości powietrza 1,8 m·s<sup>-1</sup> z zastosowaniem mikrofal o mocy 180W.

Materiał po suszeniu rozdrabniano w młynku laboratoryjnym M-11basic firmy IKA.

W materiale mokrym i suszu określono zawartość wody (metodą suszenia pod obniżonym ciśnieniem w 70°C przez 24 godziny) i aktywność wody (w aparacie Rotronic- Hygroscop DT).

**Tabela 1** Skład i metoda pozyskania proszku jabłkowego

**Table 1.** Composition and method of producing of apple powder

Metoda suszenia Drying method	Spienianie Foaming	Stosowane dodatki Additives	Gęstość Density (g·cm <sup>-3</sup> )	Zawartość wody w proszku (g·g s.s. <sup>-1</sup> ) Water content of powder (g g dm <sup>-1</sup> )	Aktywność wody proszku Water activity of powder
Sublimacyjna Freeze	nie no	nie no	0,98±0,03	3,64±0,05	0,149±0,013
Sublimacyjna Freeze	tak yes	0,5% M +2% A+15% D	0,34±0,02	2,49±0,14	0,058±0,009
Sublimacyjna Freeze	tak yes	0,5% M + 2% A	0,34±0,01	2,5±0,10	0,07±0,014
Konwekcyjna Convection	tak yes	0,5% M + 2% A	0,30±0,01	2,33±0,45	0,111±0,007
Mikrofalowa Microwave	tak yes	0,5% M + 2% A	0,30±0,01	4,33±0,16	0,174±0,098

M – metylceluloza – methylcellulose, A – albumina – albumin, D – maltodekstryna – maltodextrin.

### Metoda statyczno-eksykatorowa

Badane proszki dosuszano w suszarce próżniowej przez 24 h w temperaturze 40°C. Próbkę proszków o masie ok. 1 g umieszczano w ekzykatorach zawierających nasycone roztwory soli i suchy bezwodny CaCl<sub>2</sub> (tab. 2). Produkty przechowywano w warunkach stałej wilgotności względnej dla  $0 \leq a_w \leq 0,903$  przez okres 3 miesięcy, próbki ważono po 1, 2 i 3 miesiącach. W ekzykatorach o aktywnościach wody środowiska powyżej 0,7 umieszczano tymol w celu ochrony przed rozwojem mikroflory, a ważenie prowadzono w odstępach kilkudniowych, na wypadek wystąpienia objawów zepsucia mikrobiologicznego. Po trzech miesią-

cach mierzono aktywność wody produktu, a na podstawie zmiany masy określono zawartość wody po przechowywaniu.

Izotermy sorpcji pary wodnej opisano empirycznym równaniem Pelega (1993) przy użyciu programu Table Curve 2D v3 (Jandel Scientific):

$$u = A \cdot a_w^B + C \cdot a_w^D \quad (2)$$

gdzie: A, B, C, D – stałe,  $a_w$  – aktywność wody,  $u$  – zawartość wody (g wody g s.s.<sup>-1</sup>).

Ocenę przydatności równania do opisu uzyskanych izoterm przeprowadzono analizując wartość średniego odchylenia kwadratowego RMS.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum \left( \frac{u_e - u_c}{u_e} \right)^2}{N}} \cdot 100\%$$

gdzie:  $u_c$  zawartość wody obliczona (g wody·g s.s.<sup>-1</sup>),  $u_e$  zawartość wody wyznaczona eksperymentalnie (g wody·g s.s.<sup>-1</sup>), N – liczba prób.

**Tabela 2.** Aktywność wody roztworów nasyconych roztworów soli stosowanych jako czynniki higrostatyczne w temperaturze 25°C (Spiess i Wolf 1987)

**Table 2.** Water activity of saturated salts solutions at 25°C (Spiess and Wolf 1987)

Rodzaj substancji Chemical substance	Stężenie roztworu Concentration of solution	Aktywność wody Water activity
CaCl <sub>2</sub>	Suchy bezwodny Dry anhydrous	0,000
LiCl	Nasycony – Saturated	0,113
CH <sub>3</sub> COOK	Nasycony – Saturated	0,225
MgCl <sub>2</sub>	Nasycony – Saturated	0,329
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Nasycony – Saturated	0,438
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Nasycony - Saturated	0,529
NaNO <sub>2</sub>	Nasycony – Saturated	0,648
NaCl	Nasycony – Saturated	0,753
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Nasycony – Saturated	0,810
BaCl <sub>2</sub>	Nasycony – Saturated	0,903

Wnioskowanie statystyczne prowadzono przy poziomie istotności  $\alpha = 5\%$  wykorzystując program statystyczny Statgraphics Plus 4.1, stosowano test Tukey'a.

#### WYNIKI I DYSKUSJA

Pomiary aktywności wody po trzech miesiącach przechowywania próbek w ekzykatorach wykazały, że po takim czasie produkt nie zawsze osiąga stan równowagi. Dotyczy to środowisk o niskich aktywnościach wody (0,00 i 0,113), w których materiał, podlegał desorpcji. Gondek i Lewicki (2005) badając suszone i kandyzowane owoce wykazali, że adsorpcja pary wodnej przebiega zwykle szybciej niż desorpcja i do wyznaczenia izotermy sorpcji pary wodnej konieczny jest pomiar aktywności wody produktu po przechowywaniu. Nie przestrzegając tego zalecenia przy stosowaniu metody statyczno-ekzykatorowej popełnia się duży błąd, co wykazali również Lewicki i Pomarańska-Łazuka (2003).

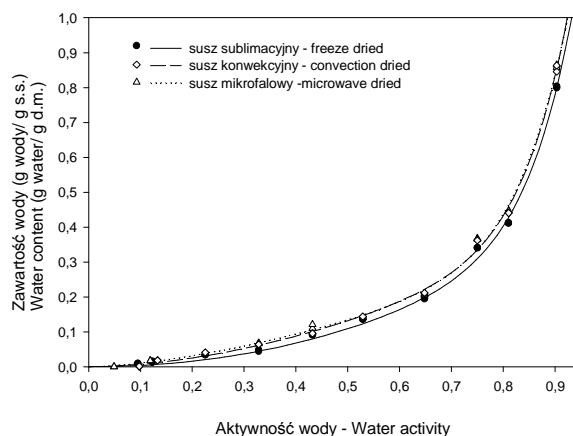
Uzyskane w pracy wyniki równowagowych zawartości wody w produkcie przedstawiono w postaci izoterm sorpcji pary wodnej. Wszystkie uzyskane izotermie cechują się tym samym kształtem, charakterystycznym dla produktów bogatych w cukry proste. Nie obserwuje się przegięcia krzywych w zakresie niskich aktywności wody, natomiast występuje przegięcie w zakresie aktywności wody ok. 0,7-0,8, po którym zawartość wody w produkcie znacząco wzrasta ze wzrostem aktywności wody środowiska. Izotermie tego rodzaju należą do III grupy według klasyfikacji Brunauera i in. (1940), typowej dla produktów bogatych w cukry proste. Takim samym przebiegiem charakteryzują się izotermie suszonych i odwadnianych osmotycznie owoców (Gondek i Lewicki 2005, Palou i in. 1995, Tsami i in. 1990, Maroulis i in. 1988, Abdelhag i Labuza 1987, Bolin 1980).

Najwyższe zawartości wody odnotowano w przypadku suszów: mikrofalowego i konwekcyjnego przy aktywności wody 0,328 proszki te zawierały średnio 0,065 g wody·g s.s.<sup>-1</sup>, a w środowisku o  $a_w = 0,930-0,843$  g wody·g s.s.<sup>-1</sup>. Podobne równowagowe zawartości wody uzyskali inni badacze dla suszonych jabłek w postaci kostek, bądź plastrów (Venir i in. 2007, Gondek 2003, Roman i in. 1982), a także innych owoców (Gondek i Lewicki, 2005). Dla porównania najniżej położona była izoterma suszu sublimacyjnego, do którego zastosowano dodatek maltodekstryny, przy  $a_w = 0,328$  zawierał on 0,045 g wody·g s.s.<sup>-1</sup>, a przy  $a_w = 0,930-0,578$  g wody·g s.s.<sup>-1</sup>.

Podjęto próbę zastosowania do opisu wyników eksperymentu równania GAB, (Bizot 1983), które jest obecnie najczęściej stosowane w literaturze, jednakże nie uzyskano zadowalających efektów. Parametry tego równania nie spełniały warunków określonych przez Lewickiego (1997) dopuszczających równanie GAB do opisu danych eksperymentalnych. Wykazał on, że równanie to może być użyte do opisu eksperymentu, tylko wówczas, gdy stałe k i c tego równania zawierają

się w następujących przedziałach  $0,24 < k \leq 1$  oraz  $5,67 < c \leq \infty$ . Dlatego do opisu krzywych użyto czteroparametrowego równania zaproponowanego przez Pelega (1993). Równanie to, które jest sumą dwóch parabol o osiach poziomej i pionowej nadaje się zarówno do opisu izoterm sorpcji II jak i III typu wg klasyfikacji Brunauera i in. (1940). Było ono z powodzeniem stosowane do opisu izoterm sorpcji suszonych i kandyzowanych owoców (Gondek i Lewicki, 2005), jak również materiałów suszonych w formie spienionej (Sinija i Mishra, 2008). Parametry równania Pelega uzyskane z analizy regresji podano w tabeli 3. Wysoki współczynnik  $r^2$  i niska wartość FSE (odchylenie standardowe składnika reszтового) oraz średni błąd kwadratowy nie przekraczający kilku procent pozwalają stwierdzić, że równanie to bardzo dobrze opisuje uzyskane zależności.

Na rysunku 1 przedstawiono krzywe uzyskane dla proszku otrzymanego poprzez suszenie materiału spienionego różnymi metodami. Krzywe sorpcji pary wodnej przez susz konwekcyjny i mikrofalowy praktycznie pokrywają się, izoterma suszu sublimacyjnego odbiega od nich nieznacznie. Można na tej podstawie przypuszczać, że sama metoda suszenia spienionego przecieru nie wpływa znacząco na właściwości sorpcyjne proszku. Tsami i in. (1999) wykazali, że izotermy sorpcji suszonych różnymi metodami żeli cukrowo-agarowych różnią się., nNajwyżej położona (największa zawartość wody w produkcie) była izoterma suszu sublimacyjnego, najniższej konwekcyjnego suszenia, jednak autorzy ci nie rozdrabniali suszu do formy proszku, co może uzasadniać rozbieżność wyników.



**Rys. 1.** Izotermy sorpcji pary wodnej proszku uzyskanego przez suszenie konwekcyjne, sublimacyjne i mikrofalowe spienionego przecieru jabłkowego

**Fig. 1.** Moisture sorption isotherms of powder produced by foam convective, freeze and microwave drying of foamed apple pulp

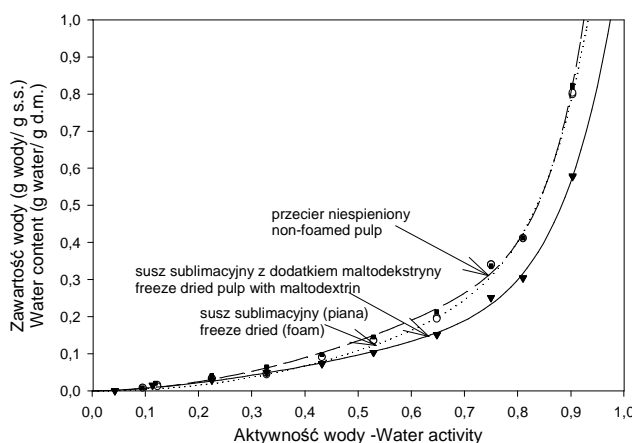
**Tabela 3.** Parametry równania Pelega uzyskane z analizy regresji  
**Table 3.** Constants of Peleg equation obtained from analysis of regression

Rodzaj materiału Kind of material	Współczynniki równania Pelega Peleg equation constants		$r^2$	FSE	RMS, %
Susz sublimacyjny (piana) Foam-freeze dried material	a = 1,45 b = 12,87	c = 0,508 d = 2,07	0,998	0,0046	1,13
Susz sublimacyjny materiał niespiany Non-foamed freeze dried material	a = 1,69 b = 13,67	c = 0,482 d = 1,84	0,998	0,0099	0,88
Susz sublimacyjny z maltodekstryną (piana) Foam-freeze dried material with addition of maltodextrin	a = 0,934 b = 10,29	c = 0,295 d = 1,62	0,997	0,0085	0,76
Susz konwekcyjny Foam-convective drying material	a = 1,43 b = 10,85	c = 0,457 d = 1,81	0,998	0,0136	3,83
Susz mikrofalowy Foam-microwave dried material	a = 1,41 b = 9,79	c = 0,398 d = 1,58	0,998	0,139	3,95

Na kolejnym rysunku (rys. 2) porównano izotermy: przecieru suszonego sublimacyjnie niespianego i w formie piany. Dodatkowo przedstawiono izotermę proszku uzyskanego poprzez suszenie sublimacyjne materiału spianego z dodatkiem maltodekstryny. Krzywe uzyskane dla proszku suszonego w stanie piany i przecieru nie różnią się. Należy jednak pamiętać, że końcowym etapem uzyskania badanych w pracy proszków było mielenie suszu, co spowodowało zniszczenie nadanej materiałowi wcześniej porowatej, otwartej struktury, a więc upodobnienie się badanych materiałów do siebie.

Izoterma suszu zawierającego dodatek maltodekstryny poczynając od aktywności wody 0,225 wyraźnie odbiega od dwóch pozostałych. Dodatek 15% maltodekstryny do piany spowodował, że izoterma praktycznie w całym swoim zakresie przesunęła się w stronę niższych zawartości wody, co oznacza, że przy tej samej aktywności wody środowiska równowagowa zawartość wody w produkcie zawierającym maltodekstrynę jest niższa. To samo zaobserwowali Gabas i in. (2007), którzy dodawali maltodekstrynę i gumę arabską do przecieru ananasowego i wyznaczyli izosteryczne ciepło sorpcji. Wykazali oni, że proszek bez dodatku maltodekstryny cechował się większą liczbą miejsc polarnych, co powodowało większą adsorpcję pary wodnej. Przy aktywności wody 0,907 susz ananasowy zawierający maltodekstrynę zaadsorbował prawie dwukrotnie mniej wody niż

materiał bez dodatków. W badanym proszku jabłkowym stosunek ten wynosił 1,4, ale dodatek maltodekstryny był niższy niż we wspomnianej pracy.



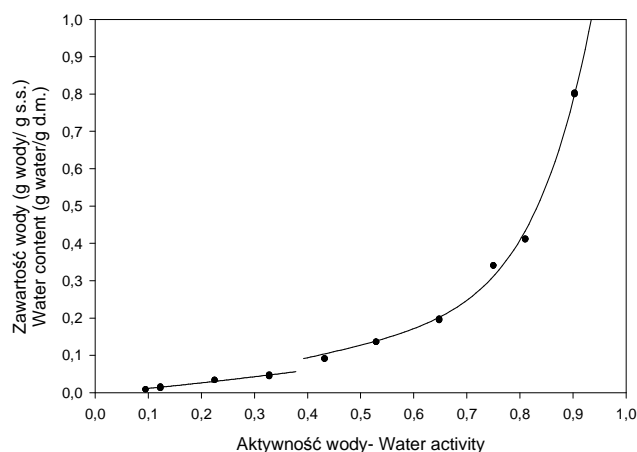
**Rys. 2.** Izotermi sorpcji pary wodnej proszku uzyskanego przez suszenie sublimacyjne spienionego i niespionionego przecieru jabłkowego

**Fig. 2.** Moisture sorption isotherms of apple powder produced by freeze drying of foamed and non-foamed apple pulp

W przypadku suszu sublimacyjnego zauważono występowanie nieciągłości izotermi w zakresie aktywności wody ok. 0,4 (rys. 3). Przerwanie izotermi może mieć związek z przemianami zawartych w produkcie cukrów. W miarę jak rośnie zawartość wody w produkcie zawierającym cukry krystaliczne dochodzi do stopniowego rozpuszczania się tych cukrów, co może prowadzić do utworzenia roztworu o stężeniu bliskim nasycenia. Ilość zaadsorbowanej przez materiał wody znacznie wówczas wzrasta, co wynika z dążenia układu do osiągnięcia stanu równowagi termodynamicznej z otoczeniem. Podczas adsorpcji wody możliwy jest również odwrotny proces tzn. przejście cukrów ze stanu amorficznego w krystaliczny. W tym przypadku adsorpcja wody prowadzi do zwiększenia ruchliwości cząsteczek cukru, co umożliwia jego przejście z metastabilnego stanu bezpostaciowego w stan krystaliczny (Lewicki 1999).

W badanych suszach należy się liczyć z występowaniem zarówno kryształów jak i formy amorficznej cukrów. Obecność stanu amorficznego cukrów prawdopodobna jest w tych przypadkach, w których szybko usuwano wodę z materiału (poprzez odparowanie lub wymrożenie), a wzrost lepkości uniemożliwił krystalizację lub też, w których temperatura materiału jest szybko obniżana poniżej temperatury topnienia składnika (Pałacha i Sitkiewicz 2008, Pałacha 2007)





**Rys. 3.** Izoterma sorpcji pary wodnej proszku uzyskanego przez suszenie sublimacyjne spienionego przecieru jabłkowego

**Fig. 3.** Moisture sorption isotherm of apple powder produced by foam freeze drying of apple pulp

#### WNIOSKI

1. Izotermy sorpcji pary wodnej proszku jabłkowego charakteryzują się przebiegiem III typu według klasyfikacji Brunauera i in. (1940) charakterystycznym dla produktów bogatych w cukry.
2. Równanie Pelega (1993) dobrze opisuje uzyskane izotermy i może być stosowane do opisu izoterm suszonego proszku jabłkowego.
3. Zarówno spienianie przecieru przed suszeniem jak i metoda suszenia piany nie wpływają na przebieg izoterm sorpcji pary wodnej przez suszony przecier jabłkowy.
4. Dodatek maltodekstryny do spienionego przecieru jabłkowego wpływa na właściwości sorpcyjne uzyskanego z niego proszku, powodując obniżenie higroskopijności produktu.

#### PIŚMIENNICTWO

- Abdelhag E. H., Labuza T. P., 1987. Air drying characteristics of apricots. *Journal of Food Science*, 52, 432-447.
- Bizot H., 1983. Using the GAB model to construct sorption isotherms. In: *Physical Properties of Food*. (Eds. R. Jowitt, F. Escher, B. Hällström, H.F.T. Meffert, W.E.L. Spiess, G. Vos). Applied Science Publishers, London, 43-54.
- Bolin H. R., 1980. Relation of moisture to water activity in prunes and raisins. *Journal of Food Science*, 45, 1190-1192.

- Brunauer S., Deming L. S., Deming W. E., Teller E., 1940. On the theory of van der Waals adsorption of gases, *Journal of the American Chemical Society*, 62, 1723-1732.
- Gabas A. L., Telis V. R. W., Sorbal P.J.A, Telis-Romero J., 2007. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapour sorption on thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 82, 246-252.
- Gondek E., 2003. Wymiana masy w produktach typu muesli i jej wpływ na właściwości mechaniczne i akustyczne płatków zbożowych. Praca doktorska, WNOŻ SGGW, Warszawa.
- Gondek E., Lewicki P.P. (2005): Izotermy sorpcji pary wodnej suszonych i kandyzowanych owoców. *Acta Sci. Pol., Technologia Alimentaria* 4 (1), 63-71.
- Jakubczyk E., Wnorowska E., 2008. Wpływ temperatury powietrza na przebieg suszenia spienionego zagęszczonego soku 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.
- Kudra T., Ratti C., 2006. Foam-mat drying: Energy and cost analyses. *Canadian Biosystems Engineering*, 48(3), 27-32.
- Lewicki P. P., 1997. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms, *International Journal of Food Science and Technology*, 32, 553-557.
- Lewicki P. P., 1999. Właściwości wody w produktach spożywczych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Inżynieria Chemiczna i Procesowa*, 24. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź, 29-46.
- Lewicki P.P., Pomarańska-Łazuka W., 2003. Errors in static desiccator method of water sorption isotherms estimation. *International Journal of Food Properties*, 6 (3), 557-563.
- Maroulis Z. B., Tsami D., Marinou-Kouris D., 1988. Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms for dried fruits. *Journal of Food Engineering*, 7, 63-78.
- Pałacha Z., 2007. Badanie stanu wody w matrycy modelowej i uzyskanej z jabłek w wykorzystaniu metody opartej na izotermach sorpcji oraz kalorymetrycznej Wydawnictwo SGGW Warszawa
- Pałacha Z., Sitkiewicz I., 2008. Temperatura przemiany szklistej- parametr stabilności żywności. *Przemysł spożywczy*, 9, 32-37
- Palou E., Lopez-Malo A., Corte P., Welti J., Argai A., 1995. Moisture sorption characteristics of blanched and osmotically treated papaya. IFT Annual Meeting. FSTA, abstract.
- Peleg M., 1993. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. *Journal of Food Process Engineering*. 16, 21-37.
- Roman G. N., Urbicain M. J., Rotstein E., 1982. Moisture equilibrium in apples at several temperatures. Experimental data and theoretical considerations. *Journal of Food Science*, 47, 1484-1492.
- Sankat C.K., Castaigne F., 2004. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 37, 517-525.
- Sharma S.K., Sharma, P., Lalkanshal B.B., 2004. Storage studies of foam mat dried hill lemon juice powder. *Journal of Food Science and Technology*, 41, 9-13.
- Sinija V.R., Mishra H.N., 2008. Moisture sorption isotherms and heat of sorption of instant (soluble) green tea powder and green tea granules. *Journal of Food Engineering*, 86, 494-500.
- Spiess W.E.L, Wolf W., 1987. Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. In: *Water Activity: Theory and Applications to Food* (Eds L. B. Rockland, L. R. Beuchat). CRC Press, New York, 215-234.
- Tsami E., Krokida M.K., Drouzas E., 1999. Effect of drying method on the sorption characteristic of model fruit powder. *Journal of Food Engineering*, 38, 381-392.

- Tsami E., Marinos-Kouris D., Maroulis Z., B., 1990. Water sorption isotherms of raisins currants, figs, prunes and apricots. *Journal of Food Science*, 55, 1594-1597.
- Venir E, Munari M., Tonizzo A., Maltini E., 2007. Structure related changes during moistening of freeze dried apple tissue. *Journal of Food Engineering*, 81, 27-32.

## MOISTURE SORPTION ISOTHERMS OF FOAM DRIED APPLE PUPLP

*Ewa Gondek, Ewa Jakubczyk*

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

**Abstract.** Moisture sorption isotherms of dried apple pulp were investigated in this work. The apple powder was obtained by foam drying of pulp and grinding process. Convective air drying, microwave and freeze drying techniques were used. Additionally, non-foamed pulp and foam with maltodextrin were dried. The static desiccator method was used to obtain the sorption isotherms. The curves represented 3rd type of Brunauer isotherms classification. The experimental data fitted well with the Peleg's equation. It was shown that neither the drying technique nor the form of apple pulp influenced the sorption properties. Incorporation of maltodextrin into the foamed pulp prior to freeze-drying caused lowering of equilibrium moisture content of apple powder.

**Keywords:** apple pulp, foam drying, moisture sorption isotherms