

ZMIANY WŁAŚCIWOŚCI HIGROSKOPIJNYCH SUSZY JABŁKOWYCH W CZASIE PRZECHOWYWANIA

Małgorzata Nowacka, Dorota Witrowa-Rajchert

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Technologii Żywności,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa
e-mail: malgorzata_rzaca@sggw.pl

Streszczenie. W pracy badano zmiany właściwości higroskopijnych suszy jabłkowych, uzyskanych w wyniku suszenia konwekcyjnego, mikrofalowo-konwekcyjnego i promiennikowo-konwekcyjnego, w czasie przechowywania w różnych temperaturach (4, 25 i 40°C). Badania wykazały, że susz promiennikowo-konwekcyjny i mikrofalowo-konwekcyjny bezpośrednio po suszeniu charakteryzowały się większą higroskopijnością niż susz konwekcyjny. W czasie przechowywania, wraz ze wzrostem temperatury i czasu przechowywania, susze te miały mniejszą zdolność adsorpcji pary wodnej. Dynamika tych zmian była największa dla suszu mikrofalowo-konwekcyjnego, tak że pod koniec okresu przechowywania susz ten charakteryzował się najgorszymi właściwościami higroskopijnymi. Najmniejsze zmiany właściwości higroskopijnych w czasie przechowywania nastąpiły w przypadku suszu promiennikowo-konwekcyjnego. Warunki przechowywania suszy jabłkowych różnicowały właściwości higroskopijne w większym stopniu niż metoda ich suszenia.

Słowa kluczowe: suszenie konwekcyjne, suszenie mikrofalowo-konwekcyjne, suszenie promiennikowo-konwekcyjne, higroskopijność, przechowywanie

WSTĘP

Jednym z podstawowych składników żywności jest woda. W czasie jej usuwania w procesie suszenia tkanki roślinnej następują zmiany właściwości fizycznych suszonego materiału. Suszenie, jako proces cieplny, zapewnia obniżenie aktywności wody w materiale, spowolnienie wielu reakcji enzymatycznych i zmniejszenie liczby drobnoustrojów, co w efekcie powoduje, że produkt jest przydatny do dłuższego przechowywania (Janowicz i Lenart 2007, Koyuncu i in. 2007, Vega-Mercado i in. 2001, Wesołowski i Markowski 2000).

O trwałości przechowalniczej suszonych produktów decydują między innymi ich właściwości higroskopijne. Właściwości higroskopijne suszonych produktów wiążą się ze zdolnością pochłaniania wody w środowisku wilgotnym lub oddawania wody w środowisku suchym. W konsekwencji wpływa to na zmianę zawartości wody w produkcie, która determinuje trwałość żywności. Zdolność adsorpcji i desorpcji pary wodnej zależą w dużej mierze od struktury i budowy produktu (Lewicki 2004). Tak więc wybór metody suszenia ma znaczący wpływ na właściwości higroskopijne, które bezpośrednio związane są ze skurczem i porowatością suszu. Niewielki skurcz wiąże się z jego większą porowatością, a to prowadzi najczęściej do szybszego chłonięcia pary wodnej. Przykładowo susz sublimacyjny o skurczu około 4% i większej porowatości łatwiej chłoniął parę wodną niż susz konwekcyjny, którego skurcz wynosił około 77% (Fabisiak i in. 2003).

Po procesie suszenia produkty nie uzyskują stanu równowagi. Obróbka wstępna i proces suszenia mogą wywołać naprężenia, które w czasie przechowywania mogą ulegać relaksacji. Zainicjowane w czasie suszenia zmiany chemiczne i fizyczne zależą od molekularnej mobilności składników żywności, która z kolei zależy od zawartości wody i temperatury materiału. Przy wyższej zawartości wody lub wyższej temperaturze następuje obniżenie lepkości i mobilność molekuł jest większa, w związku z czym materiał jest wrażliwszy na chemiczne, fizyczne i biologiczne zmiany (Lewicki 2004, Lewicki 2006).

W czasie przechowywania suszonych produktów istotny wpływ na ich jakość mają szczególnie warunki przechowywania, wśród których decydujące znaczenie mają temperatura, wilgotność, dostęp światła, rodzaj otaczającej atmosfery oraz zastosowane opakowanie. Stabilność przechowalnicza suszonej żywności zależy także od końcowej wilgotności produktu, która nie powinna przekraczać wartości odpowiadającej adsorpcji monomolekularnej (Labuza i Contreras-Medellin 1981). Celem badań było określenie zmian właściwości higroskopijnych jabłek suszonych konwekcyjnie, mikrofalowo-konwekcyjnie i promiennikowo-konwekcyjnie, przechowywanych w różnej temperaturze.

MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto jabłek odmiany *Idared*. Owoce myto, obierano i krojono w plastry o średnicy 30 mm i grubości $2,5 \pm 0,1$ mm. Pokrojony materiał zanurzano w 0,1% rozworze kwasu cytrynowego, w celu zabezpieczenia przed reakcjami brunatnienia enzymatycznego. Następnie osuszano materiał na bibule, układano na płytach sitowych i suszono.

Zastosowano trzy metody suszenia: suszenie konwekcyjne, konwekcyjno-mikrofalowe i konwekcyjno-promiennikowe. Procesy te przeprowadzono w suszarkach laboratoryjnych w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji

SGGW. W przypadku suszenia konwekcyjnego surowiec układano na sicie w pojedynczej warstwie i suszono w temperaturze 70°C, stosując przepływ powietrza o prędkości 2 m·s⁻¹ równoległy do warstwy materiału. Suszenie mikrofalowo-konwekcyjne prowadzono przy zastosowaniu mocy mikrofal 300 W oraz temperatury powietrza wynoszącej 40°C, przy czym przepływ powietrza o prędkości 3,5 m·s⁻¹ był prostopadły do warstwy materiału. Natomiast suszenie przy wykorzystaniu promieniowania podczerwonego prowadzono stosując odległość źródła promieniowania od powierzchni suszonego materiału wynoszącą 20 cm, przepływ nieogrzewanego powietrza o prędkości 1,2 m·s⁻¹, równoległy do warstwy materiału. Źródłem promieniowania podczerwonego było dziewięć lamp o mocy 175 W każda i średnicy 125 mm ustawionych szeregowo w trzech rzędach.

Otrzymane susze przechowywano w torebkach polietylenowo-aluminiowych PE/Al/PE. Podczas pakowania w urządzeniu komorowym do pakowania usuwano w 80% powietrza i zgrzewano. Tak zapakowane susze przechowywano w trzech temperaturach: 4, 25 i 40°C. Susze przechowywano przez 12 miesięcy, a po 1, 3, 6 i 12 miesiącach przeprowadzano badania jakościowe, obejmujące zmiany właściwości higroskopijnych.

W celu określenia właściwości higroskopijnych, wyrażonych kinetyką sorpcji, materiał bezpośrednio po suszeniu różnymi metodami przy wybranych parametrach procesowych oraz po każdym czasie przechowywania, ważono i umieszczano w ekzykatorze nad roztworem NaCl w środowisku o aktywności wody $a_w = 0,75$. Kinetykę adsorpcji wyznaczano przez 72 godziny w temperaturze 25°C. Po czasie 0,5, 1, 3, 5, 8, 10, 24, 48 i 72 h ważono próbki.

Na podstawie pomiarów objętości wykonanych metodą toluenową (Mazza 1983) w materiale surowym i suszonym różnymi metodami obliczano skurcz.

Analizę statystyczną wyników przeprowadzono przy zastosowaniu testu t-Studenta, dwuczynnikowej analizy wariancji i procedury Duncana przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zdolność adsorpcji pary wodnej jest cechą charakterystyczną danego produktu i zależy od jego struktury i składu chemicznego (Acevedo i in. 2008, Khalloufi i in. 2000). Metoda suszenia ma także wpływ na przebieg kinetyki adsorpcji (Nowak i Lewicki 2005).

Zróznicowany sposób dostarczenia energii wpłynął na jakość suszu. Jabłka suszone metodą konwekcyjną pod względem właściwości fizycznych istotnie różniły się od jabłek suszonych metodą mikrofalowo-konwekcyjną i promiennikowo-konwekcyjną. Susz konwekcyjny charakteryzował się najmniejszą objętością oraz uległ największemu skurczowi, wynoszącemu około 76% (tab. 1).

W porównaniu z suszem konwekcyjnym, susze uzyskane metodą mikrofalowo-konwekcyjną i promiennikowo-konwekcyjną charakteryzowały się skurczem mniejszym odpowiednio o 17 i 9%, przy czym były to wartości różnicujące susze w sposób istotny.

Tabela 1. Skurcz suszy jabłkowych uzyskanych różnymi metodami suszenia

Table 1. Shrinkage of dried apples obtained by different drying methods

Metoda suszenia Method of drying	Skurcz – Shrinkage (%)	
	\bar{x}	SD
Konwekcyjna – Convective	76,0 a	2,9
Mikrofalowo-konwekcyjna Microwave-convective	63,3 c	1,2
Promiennikowo-konwekcyjna Infrared-convective	68,9 b	1,7

a, b, c – te same litery wskazują grupy jednorodne – the same letters show homogeneous groups

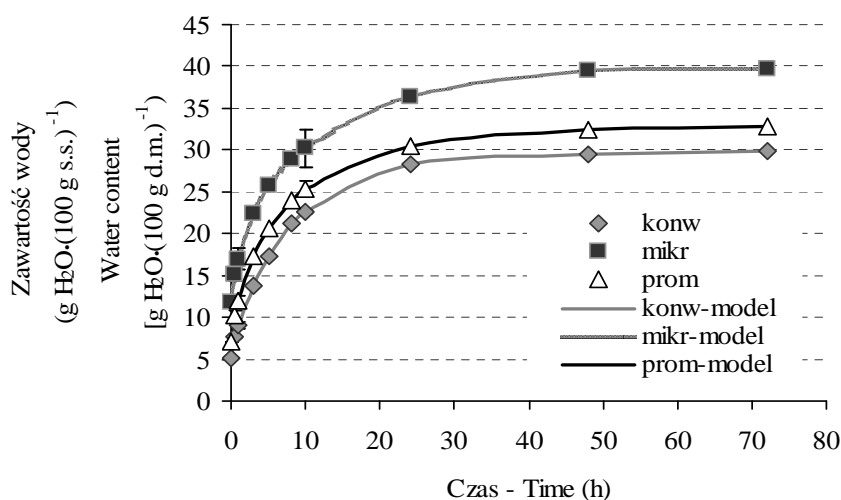
Tabela 2. Doświadczalne i obliczone równowagowe zawartości wody w jabłku suszonym różnymi metodami

Table 2. Experimental and calculated equilibrium moisture content of dried apples obtained by different drying methods

Metoda suszenia Method of drying	Równowagowa zawartość wody po 72h Equilibrium moisture content after 72h (g·100 g s.s. ⁻¹)	Obliczona równowagowa zawartość wody Calculated equilibrium moisture content (g·100 g s.s. ⁻¹)
Konwekcyjna Convective	29,8±0,2 a	29,6
Mikrofalowo- konwekcyjna Microwave- convective	39,7±0,5 c	39,8
Promiennikowo- konwekcyjna Infrared- convective	32,7±0,2 b	32,6

Po 72 godzinach adsorpcji pary wodnej z nad roztworu NaCl ($a_w = 0,75$) materiał bezpośrednio po suszeniu osiągnął istotnie różniącą się zawartość wody (tab. 2). Właściwości higroskopijne miały ścisły związek ze strukturą suszonego materiału (Witrowa-Rajchert i Rząca 2009). Susz uzyskany metodą konwekcyjną adsorbował po 72 h procesu $29,8 \pm 0,2$ g $H_2O \cdot 100$ g s.s.⁻¹. Podobną zawartością wody, wynoszącą $27,9$ g $H_2O \cdot 100$ g s.s.⁻¹, charakteryzował się suszony konwekcyjnie ziemniak po 48 godzinnym procesie adsorpcji pary wodnej, natomiast w tych samych warunkach procesu marchew charakteryzowała się wyższą zawartością wody, wynoszącą $50,8$ g $H_2O \cdot 100$ g s.s.⁻¹ (Pałacha i in. 1998). Mniejszy skurcz suszu promiennikowo-konwekcyjnego, w porównaniu z suszem konwekcyjnym, wiązał się z jego większą porowatością (Witrowa-Rajchert i Rząca 2009), a to prowadziło do szybszego chłonięcia pary wodnej, co spowodowało, że zawartość wody po 72 h wynosiła $32,7 \pm 0,2$ g $H_2O \cdot 100$ g s.s.⁻¹. Wartości te mogą wskazywać również, że w czasie suszenia konwekcyjnego nastąpiło większe uszkodzenie tkanki roślinnej, w wyniku czego została obniżona zdolność wiązania wody. Sorpcja pary wodnej przebiegała najintensywniej w przypadku suszu mikrofalowo-konwekcyjnego, który osiągnął po 72 h zawartość wody wynoszącą $39,7$ g $H_2O \cdot 100$ g s.s.⁻¹. Wynikało to z najmniejszego skurczu tego suszu. Susz ten charakteryzował się więc największą higroskopijnością.

Kinetykę adsorpcji pary wodnej przez susze bezpośrednio po procesie usuwania wody przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Kinetyka adsorpcji pary wodnej przez jabłka suszone różnymi metodami

Fig. 1. Water adsorption kinetics of dried apples obtained by different drying methods

Przebieg zmian zawartości wody na rysunku 1 opisano następującym równaniem wybranym z równań kinetycznych w programie TableCurve 2D v. 5.01 (Jandel Scientific):

$$u = a + b \left(1 - \frac{1}{e^{c\tau}} \right) + d \left(1 + \frac{1}{e^{e\tau}} \right) \quad (1)$$

gdzie: u – zawartość wody ($\text{g} \cdot (100 \text{ g s.s.})^{-1}$), τ – czas (h), a, b, c, d, e – parametry równań (–).

Na podstawie tych równań obliczono wartości równowagowe ilości wchłoniętej wody po nieskończenie długim czasie ze wzoru: $u_r = a + b + d$.

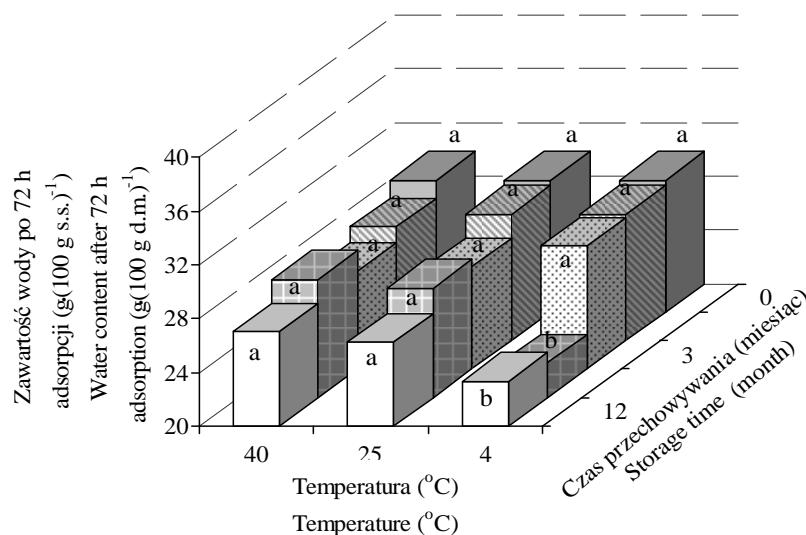
Tabela 3. Parametry równań opisujących kinetykę adsorpcji pary wodnej suszonych jabłek
Table 3. Parameters of equations describing the kinetics of water adsorption of dried apples

Metoda suszenia Drying method	Równanie postaci $u = a + b \left(1 - \frac{1}{e^{c\tau}} \right) + d \left(1 + \frac{1}{e^{e\tau}} \right)$						
	r^2	F stat.	Parametry równania – Equation parameters				
			a	b	c	d	e
Konwekcyjna Convective	0,999	3873	5,078	1,765	1,777	22,759	0,121
Mikrofalowo- konwekcyjna Microwave- convective	0,999	4781	11,915	7,771	0,663	20,206	0,074
Promiennikowo- konwekcyjna Infrared- convective	0,999	3316	7,261	6,549	0,649	18,835	0,0947

W początkowej fazie procesu adsorpcji, do 10 godziny, obserwowano intensywny przyrost zawartości wody, przy czym najszybciej chłonał parę wodną susz mikrofalowo-konwekcyjny, a najwolniej konwekcyjny. Porównując obliczone na podstawie równań równowagowe zawartości wody z otrzymanymi eksperymentalnie po 72 h (tab. 2), należy stwierdzić, iż susze osiągnęły stan równowagi.

Zmiany zawartości wody osiągniętej po 72 h adsorpcji przez susz konwekcyjny przechowywany w różnych temperaturach przedstawiono na rysunku 2. Zdolność adsorpcji pary wodnej nie różnicowała statystycznie istotnie próbek

w czasie przechowywania w temperaturze 40 i 25°C, jednakże można było obserwować pewne tendencje. W trakcie przechowywania zdolność suszu do adsorpcji pary wodnej zmniejszała się. Susz bezpośrednio po suszeniu adsorbował $29,8 \pm 0,2$ g H₂O·100 g s.s.⁻¹. W przypadku suszu przechowywanego w temperaturze 4°C, po 6 miesiącu nastąpił istotny statystycznie spadek zdolności adsorpcji pary wodnej. Susz konwekcyjny w tym przypadku zaadsorbował jedynie $22,6 \pm 0,2$ g H₂O·100 g s.s.⁻¹. Mimo obserwowanych różnic dwuczynnikowa analiza wariancji nie wykazała wpływu temperatury i czasu przechowywania na zmiany właściwości higroskopijnych suszu konwekcyjnego.



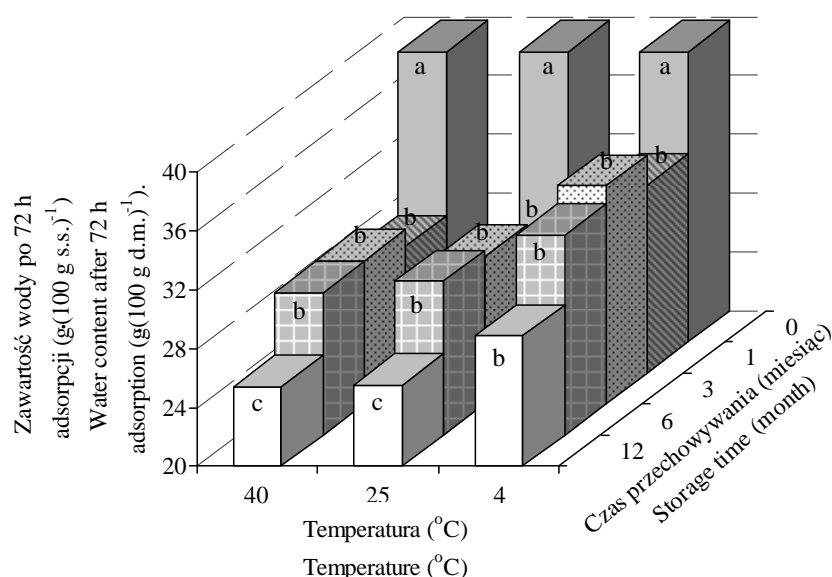
Rys. 2. Zawartość wody w suszu konwekcyjnym przechowywanym przez 12 miesięcy, po 72 h przebywania w środowisku o $a_w = 0,75$

Fig. 2. Water content in convective dried apples stored for 12 months, after 72 h dampening in an environment with $a_w = 0.75$

a, b, c – te same litery wskazują grupy jednorodne – the same letters show homogeneous groups

Susz uzyskany przy wykorzystaniu mikrofal, bezpośrednio po suszeniu charakteryzował się najwyższą zdolnością adsorpcji pary wodnej, która była istotnie wyższa od pozostałych dwóch suszy. Jednak w trakcie przechowywania, już po 1 miesiącu, nastąpił istotny spadek zaadsorbowanej ilości pary wodnej o 17-30% (rys. 3). Tak duże zmiany mogą wskazywać, że w czasie przechowywania doszło do przemian, w wyniku których została obniżona zdolność wiązania wody. Przykładowo, w trakcie przechowywania mogła nastąpić krystalizacja amorficznych składników, szczególnie sacharydów (Buera i in. 2005). Wraz ze wzrostem tem-

peratury, w trakcie przechowywania następowało obniżenie zdolności suszu do adsorpcji pary wodnej. Tak więc najwyższą higroskopijnością charakteryzował się susz przechowywany w temperaturze 4°C, która wynosiła pod koniec okresu przechowywania $28,9 \pm 1,2$ g H₂O·100 g s.s.⁻¹. Zdecydowanie mniej wody adsorbowały susze przechowywane 12 miesięcy w temperaturze 25 i 40°C, odpowiednio $25,6 \pm 0,2$ i $25,5 \pm 0,2$ g H₂O·100 g s.s.⁻¹. Wartości te, w porównaniu do suszu konwekcyjnego przechowywanego w tych samych warunkach były niższe, jednakże różnica między nimi nie była istotna statystycznie. Dwuczynnikowa analiza wariancji wykazała, iż w tym przypadku temperatura i czas przechowywania wykazały istotny wpływ na badane właściwości.

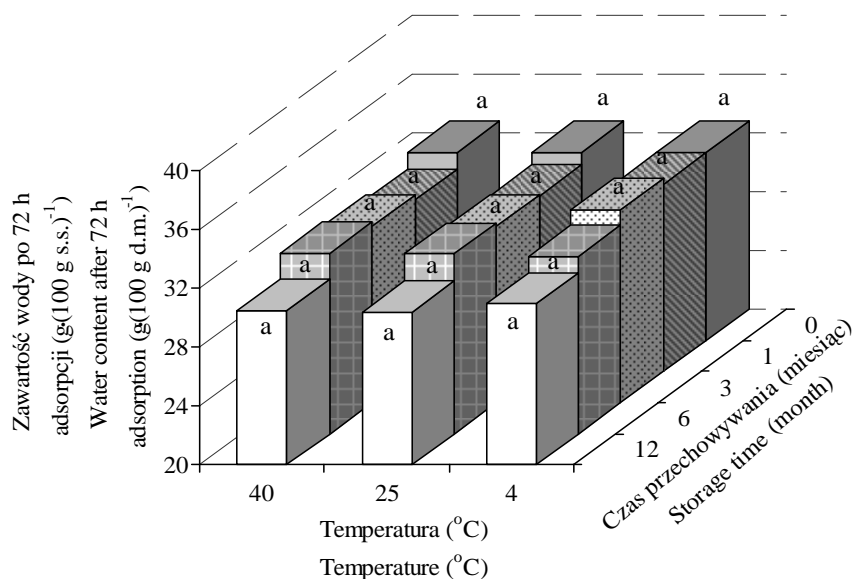


Rys. 3. Zawartość wody w suszu mikrofalowo-konwekcyjnym przechowywanym przez 12 miesięcy, po 72 h przebywania w środowisku o $a_w = 0,75$

Fig. 3. Water content in microwave-convective dried apples stored for 12 months, after 72 h damping in an environment with $a_w = 0.75$

Susz uzyskany przy wykorzystaniu promieni podczerwonych, bezpośrednio po suszeniu adsorbował $32,7 \pm 0,2$ g H₂O·100 g s.s.⁻¹ (rys. 4). Susz ten był najbardziej stabilny pod względem zdolności adsorpcji pary wodnej, co sugeruje, że nie nastąpiły w nim istotne zmiany w trakcie przechowywania. Wraz ze wzrostem temperatury przechowywania następował nieznaczny spadek zdolności adsorpcji pary wodnej. Najwyższą higroskopijnością, wynoszącą pod koniec okresu przechowywania $31,0 \pm 0,6$ g H₂O·100 g s.s.⁻¹, charakteryzował się susz przechowywany w temperatu-

rze 4°C. Natomiast susze przechowywane w temperaturze 25 i 40°C adsorbowały nieco mniej wody. Dwuczynnikowa analiza wariancji wykazała, iż istotny wpływ na zdolność adsorpcji miała jedynie temperatura przechowywania.



Rys. 4. Zawartość wody w suszu promiennikowo-konwekcyjnym przechowywanym przez 12 miesięcy, po 72 h przebywania w środowisku o $a_w = 0,75$

Fig. 4. Water content in infrared-convective dried apples stored for 12 months, after 72 h damping in an environment with $a_w = 0.75$

W tabeli 3 przedstawiono uzyskane po 72 h procesu wartości zawartości wody w suszach uzyskanych różnymi metodami, przechowywanych w temperaturze 4, 25 i 40°C przez okres 12 miesięcy.

Największe ilości zaadsorbowanej wody po 72 h procesu osiągnął materiał suszony promiennikowo-konwekcyjnie, niezależnie od temperatury, w jakiej był przechowywany. Susz ten, bezpośrednio po suszeniu, charakteryzował się gorszą higroskopijnością niż susz mikrofalowo-konwekcyjny. Natomiast przechowywanie spowodowało pogorszenie właściwości sorpcyjnych suszu mikrofalowo-konwekcyjnego, w porównaniu do suszu promiennikowo-konwekcyjnego, przy czym podczas przechowywania w wyższych temperaturach różnica pomiędzy ilością zaadsorbowanej pary wodnej przez susze była istotna statystycznie. Natomiast susz konwekcyjny przechowywany w najniższej temperaturze w najmniejszym stopniu chłonał wodę, przy czym wraz ze wzrostem temperatury przechowywania jego zdolności higroskopijne poprawiały się.

Tabela 3. Właściwości higroskopijne po 12 miesiącach przechowywania w różnych temperaturach suszu konwekcyjnego, mikrofalowo-konwekcyjnego i promiennikowo-konwekcyjnego

Table 3. Hygroscopic properties after 12 months of storage at different temperatures for convective, microwave-convective and infrared-convective dried apples

Rodzaj suszu Type of dried apple	Temperatura przechowywania – Storage temperature (°C)					
	40		25		4	
	Właściwości higroskopijne (g·(100 g s.s.) ⁻¹) Hygroscopic properties (g (100 g d.m.) ⁻¹)					
	x	SD	x	SD	x	SD
Konwekcyjny Convective	27,0 a,b	0,3	26,2 a	0,5	23,3 a	0,2
Mikrofalowo- konwekcyjny Microwave- convective	25,5 a	0,2	25,6 a	0,2	28,9 b	1,2
Promiennikowo- konwekcyjny Infrared- convective	30,5 b	0,3	30,4 b	0,6	31,0 b	0,6

a, b – te same litery wskazują grupy jednorodne – the same letters show homogeneous groups.

WNIOSKI

1. Susz promiennikowo-konwekcyjny i mikrofalowo-konwekcyjny bezpośrednio po suszeniu charakteryzowały się większą higroskopijnością niż susz konwekcyjny.

2. W czasie przechowywania, wraz ze wzrostem temperatury i czasu przechowywania, susze te miały mniejszą zdolność adsorpcji pary wodnej. Dynamika tych zmian była największa dla suszu mikrofalowo-konwekcyjnego, tak że pod koniec okresu przechowywania susz ten charakteryzował się najgorszymi właściwościami higroskopijnymi.

3. Najmniejsze zmiany właściwości higroskopijnych w czasie przechowywania nastąpiły w przypadku suszu promiennikowo-konwekcyjnego.

4. Temperatura przechowywania suszy jabłkowych różnicowała właściwości higroskopijne w większym stopniu niż metoda ich suszenia.

PIŚMIENNICTWO

- Acevedo N.C., Briones V., Buera P., Aguilera J.M., 2008. Microstructure affects the rate of chemical, physical and color changes during storage of dried apple discs. *J. Food Eng.*, 85, 222-231.
- Buera P., Schebor C., Elizalde B., 2005. Effect of carbohydrate crystallization on stability of dehydrated foods and ingredient formulations. *J. Food Eng.*, 67, 157-165.
- Fabisiak A., Witrowa-Rajchert D., Głuszko J., 2003. Wpływ temperatury na wybrane właściwości jabłek suszonych konwekcyjnie i sublimacyjnie. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2(35) Supl., 19-27.
- Janowicz M., Lenart A., 2007. Rozwój i znaczenie operacji wstępnych w suszeniu żywności. *Właściwości Fizyczne Suszonych Surowców i Produktów Spożywczych*, Komitet Agrofizyki PAN, Wyd. Naukowe FRNA, Lublin, 15-33.
- Khalloufi S., Glasson J., Ratti C., 2000. Water activity of freeze-dried mushrooms and berries. *C. Agric. Eng.*, 42(1), 1-13.
- Koyuncu T., Tosun I., Pinar Y., 2007. Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.). *J. Food Eng.*, 78(2), 735-739.
- Labuza T.P., Contreras-Medellin R., 1981. Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal Foods World*, 26, 335-343.
- Lewicki P.P., 2004. Water as the determinant of food engineering properties. A review. *J. Food Eng.*, 61(4), 483-495.
- Lewicki P.P., 2006. Design of hot air drying for better foods. *Trends Food Sci. Technol.*, 17(4), 153-163.
- Mazza G., 1983. Dehydration of carrots: effect of predrying treatments on moisture transport and product quality. *Journal of Food Technology*, 18, 113-123.
- Nowak D., Lewicki P.P., 2005. Quality of infrared dried apple slices. *Drying Technol.*, 23(4), 831-846.
- Pałacha Z., Witrowa-Rajchert D., Lewicki P.P., 1998. Sorption properties of potato and carrot dried by convection. *Properties of water in foods* (ed. P.P. Lewicki), Warszawa, 172-182.
- Vega-Mercado H., Angora-Nieto M.M., Bartosa-Cánovas G.V., 2001. Advances in dehydration of food. *J. Food Eng.*, 49, 271-289.
- Wesołowski A., Markowski M., 2000. Badania nad suszeniem jabłek promieniami podczerwonymi. *Inżynieria Rolnicza*, 5, 249-256.
- Witrowa-Rajchert D., Rząca M., 2009. Effect of drying method on the microstructure and physical properties of dried apples. *Drying Technology*, 27, 903-909.

CHANGES OF HYGROSCOPIC PROPERTIES
OF DRIED APPLES DURING STORAGE*Małgorzata Nowacka, Dorota Witrowa-Rajchert*

Department of Food Engineering and Process Management, Faculty of Food Sciences,
Warsaw University of Life Sciences
ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa
e-mail: malgorzata_rzaca@sggw.pl

Abstract. Changes of hygroscopic properties of convective, microwave-convective and infrared-convective dried apples during storage at different conditions (4, 25 and 40°C) were the object of the research. Achieved results showed that infrared-convective and microwave-convective dried

material after drying was characterised by greater hygroscopicity than convective one. The dried apples had reduced ability of adsorbing water vapour during the storage, with increasing temperature and time. The dynamics of these changes was the highest for the microwave-convective dried apples, so that at the end of the storage period these were characterised by the worst hygroscopic properties. The smallest changes of hygroscopic properties during storage occurred in the infrared-convective dried apples. The storage conditions of dried apples had a greater influence on the hygroscopic properties than the method of drying.

Keywords: convective drying, microwave-convective drying, infrared-convective drying, hygroscopic properties, storage