

Millena RUSZKOWSKA, Benjamin TKACZ

e-mail: m.ruszkowska@wpit.am.gdynia.pl

Katedra Organizacji Usług Turystyczno-Hotelarskich, Wydział Przedsiębiorczości i Towaroznawstwa, Akademia Morska, Gdynia

Ocena suszu owocowego na przykładzie chipsów jabłkowych – charakterystyka właściwości higroskopijnych

Wstęp

W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie suszonymi surowcami roślinnymi, które oferowane są w formie przekąsek. Bardzo dobrze nadają się do tego celu jabłka, a Polska jest największym producentem jabłek w Europie. Obecnie cena jabłek jest relatywnie niska, a problemy z eksportem skłaniają do poszukiwania sposobów na jak najszybsze wykorzystanie tego surowca w przemyśle oraz w gospodarstwach domowych. Suszenie należy do najstarszych termicznych metod utrwalania żywności. Polega na usuwaniu wody z produktu w celu zmniejszenia jej aktywności chemicznej. [Ratti 2001; Lapczyńska-Kordon i Krzysztofik, 2008; Stępień 2009; Wesolowski, 2009; Nowacka i Witrowa-Rajchert 2010a; Vega-Galvez i in., 2012; Nadian i in., 2014].

O trwałości przechowalniczej suszonych produktów decydują między innymi ich właściwości higroskopijne, które 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. Zdolności adsorpcji i desorpcji pary wodnej zależą w dużej mierze od struktury i budowy produktu [Nowak, Lewicki, 2004].

Celem niniejszej pracy była porównawcza ocena jakości suszy jabłkowych otrzymanych w wyniku zastosowania procesu suszenia przy wykorzystaniu suszarki domowej. Ocena jakości otrzymanych suszy jabłkowych obejmowała określenie właściwości higroskopijnych badanych produktów.

Badania doświadczalne

Materiał badawczy stanowiły dwie grupy produktów:

- I – produkt zakupiony w sieci handlowej - *Crispy* jabłkowe, produkowane przez *FPH PAULA* w Kaliszu;
- II – produkty wytworzone w warunkach laboratoryjnych:
 - II A - z jabłek odmiany *Ligol*,
 - II B - z jabłek odmiany *Champion*.

Stanowisko. Jabłka po zakupie, w jednej z sieci handlowych na terenie Gdyni, zostały przetransportowane do laboratorium *Akademii Morskiej*, gdzie były przechowywane w warunkach chłodniczych. W obu odmianach jabłek przed procesem suszenia określono początkową zawartość i aktywność wody. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że obydwie odmiany jabłek charakteryzowały się zbliżoną zawartością wody (Tab. 1).

Tab. 1. Zawartość i aktywność wody jabłek świeżych II A (*Ligol*) i II B (*Champion*) przed procesem suszenia

Produkt	Średnia zawartość wody [g/100g s.s.]	SD	Aktywność wody [-]	SD
II A	87,24	0,011	0,976	0,004
II B	86,25	0,009	0,974	0,003

dla $n_{(I)} = n_{(II)} = 3$

W kolejnym etapie badań z obu odmian jabłek przygotowano próbki do badań krojąc jabłka w plastry o grubości 3 mm. Przygotowane próbki, suszone przy użyciu elektrycznej suszarki do grzybów i owoców firmy *MPM* typu *MSG-02* o mocy 400 W wyposażonej w 5 sit o średnicy 33 cm oraz 3-stopniową regulację nawiewu gorącego powietrza. Pomiar przeprowadzono wstępnie przy trzech różnych prędkościach powietrza (I, II i III), a suszenie każdej próbki trwało 24 godziny. Na podstawie tych wstępnych badań zrezygnowano z suszenia próbek przy III. prędkości powietrza, ponieważ uzyskane susze charakteryzowały się cechami produktu przypalonego oraz zrezygnowano z suszenia próbek przy I. prędkości ze względu na niewystarczające wysuszenie produktu. Po wystudzeniu próbek w warunkach naturalnych przeprowadzono pomiary zgodnie z opisaną poniżej metodyką.

Metodyka. W badanych produktach oznaczano zawartość wody metodą suszenia [Krełowska-Kulas, 1993] oraz aktywność wody w aparacie

AquaLab Seria 3 model TE o dokładności $\pm 0,003$ firmy *Decagon Devices*, USA w temperaturze $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

Ocenę właściwości higroskopijnych przeprowadzono metodą statyczną, opartą na wyznaczeniu izoterm adsorpcji pary wodnej w zakresie aktywności wody $a_w = 0,07 \div 0,93$. Czas ustalenia równowagi układu wyniósł 21 dni. Próbkę umieszczoną w higrostaty zawierały nasycone roztwory soli. Na podstawie początkowej masy produktu oraz zmian zawartości wody obliczano równowagową zawartość wody i wykreślano izotermę sorpcji [Palich i in., 2004]. Empirycznie uzyskane izotermę stanowiły podstawę opracowania charakterystyki właściwości sorpcyjnych w zakresie aktywności wody $0,07 \leq a_w \leq 0,33$ z wykorzystaniem równania *Brunauera, Emmeta i Tellera* (BET) [Ościak, 1979; Paderewski, 1999]:

$$a = \frac{v_m c a_w}{(1 - a_w)[1 + (c - 1)a_w]} \quad (1)$$

gdzie: a – adsorpcja, [g/g]; v_m – zawartość wody w monowarstwie [g/g]; c – stała energetyczna [$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$]; a_w – aktywność wody [-].

Dopasowanie danych empirycznych do równania BET oceniano na podstawie wartości współczynnika determinacji (R^2) oraz błędu standardowego estymacji (*FitSidErr*).

Powierzchnię właściwą adsorbentu obliczano na podstawie równania [Paderewski, 1999]:

$$a_{sp} = \omega \frac{V_m}{M} N \quad (2)$$

gdzie: a_{sp} – powierzchnia właściwa sorpcji, [m^2/g s.s.]; N – liczba *Avogadra*, [cząst./mol]; M – masa cząsteczkowa wody, [g/mol], ω – powierzchnia siadania wody, przyjęto $\omega = 1,05 \cdot 10^{-19} \cdot \text{m}^2/\text{cząst.}$

Wyniki i dyskusja

Na podstawie przeprowadzonej oceny zawartości wody stwierdzono (Tab. 2), że susze przygotowane doświadczalnie (II A i II B) cechowały się zbliżoną zawartością wody – 0,83% i 0,82%, natomiast *Crispy* jabłkowe (I) charakteryzowały się wyższą zawartością wody 2,69%. Tak niska zawartość wody w suszu otrzymanym z jabłek odmiany *Ligol* (A) i *Champion* (B) była prawdopodobnie wynikiem 24 h procesu suszenia jabłek w suszarce firmy *MPM* typu *MSG-02*.

Przeprowadzona ocena początkowej aktywności wody wykazała, iż najwyższą początkową aktywnością wody charakteryzował się susz II A.

Tab. 2. Zawartość wody badanych produktów: I – *Crispy* jabłkowe, II A – susz z jabłek *Ligol*, II B – susz z jabłek *Champion*

Produkt	Średnia zawartość wody, [g/100g s.s.]	SD
I	2,69	0,181
II A	0,83	0,033
II B	0,82	0,109

Aktywność wody w tym suszu ukształtowała się na poziomie $a_w = 0,368$. Należy podkreślić, iż jabłka *Ligol* również charakteryzowały się najwyższą początkową zawartością i aktywnością wody (Tab. 1). Na podobnym poziomie ($a_w = 0,359$) ukształtowała się aktywność wody w suszu z jabłek *Champion* (II B). Natomiast produkt handlowy (I), pomimo wyższej początkowej zawartości wody, charakteryzował się najniższą aktywnością wody spośród wszystkich ocenianych produktów (Tab. 3).

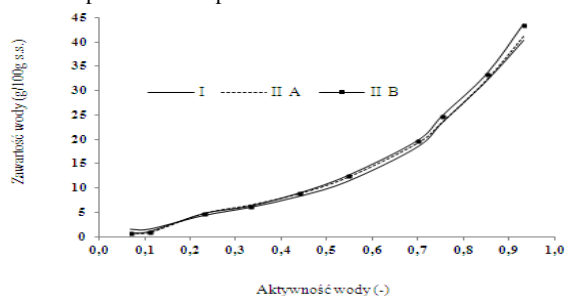
Tab. 3. Aktywność wody badanych produktów I, II A, II B

Produkt	Średnia aktywność wody [-]	SD
I	0,333	0,006
II A	0,368	0,015
II B	0,359	0,004
dla $n_{(I)} = n_{(II)} = 3$		

Pomimo nieznacznych różnic w aktywności wody oznaczonej w badanych produktach stwierdzono, że badane susze I, IIA i IIB były stabilne mikrobiologicznie, ponieważ aktywność wody na poziomie poniżej 0,6 zapobiega rozwojowi mikroorganizmów. Jednak na podstawie uzyskanych wyników aktywności wody przypuszczać można, że badane susze były podatne na zmianę barwy, ponieważ dopiero przy wartości aktywności wody poniżej 0,2 nie zachodzą reakcje nieenzymatycznego brunatnienia, a badane susze charakteryzowały się wyższym poziomem aktywności wody (Tab. 3).

Uzyskane izotermy sorpcji pary wodnej badanych suszy charakteryzowały się sigmoidalnym przebiegiem i odpowiadały III. typowi izoterm sorpcji według klasyfikacji zaproponowanej przez Brunauera i in. [1940]. Taki sam kształt izotermy sorpcji dla suszonych jabłek otrzymał w swoich badaniach Rząca [2009].

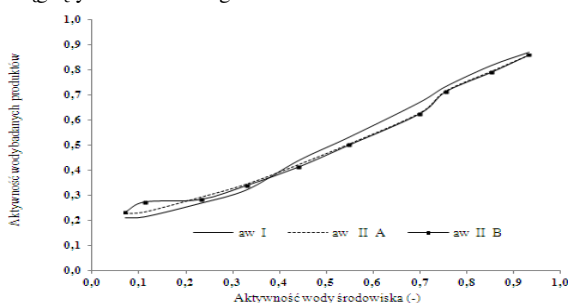
Izoterma adsorpcji pary wodnej (Rys. 1) dla I. produktu po przekroczeniu aktywności wody środowiska $a_w = 0,33$ charakteryzowała się wyższym przebiegiem, przyjmując wyższe wartości aktywności wody w produkcie w porównaniu z produktami II A oraz II B.



Rys. 1. Izoterma adsorpcji pary wodnej badanych produktów

W środowisku o aktywności wody $a_w = 0,07 \div 0,11$, produkt handlowy I, wykazał wyższą higroskopijność uzyskując znacznie wyższą wilgotność (odpowiednio 1,5408 i 1,5606), niż produkty wytworzone w laboratorium II A i II B. Tym samym przypuszczać można, że dodatki stosowane w procesie technologicznym przygotowywania produktu handlowego mogły prawdopodobnie zwiększyć jego higroskopijność. Jednak po przekroczeniu aktywności wody środowiska $a_w = 0,23$ zauważono tendencję odwrotną. W środowiskach o aktywności $a_w = 0,23 \div 0,93$ susze wytworzone z jabłek *Ligol* i *Champion*, charakteryzowały się wyższą higroskopijnością. Chipsy wytworzone z jabłka *Champion* II B cechowały się najwyższą higroskopijnością spośród badanych produktów – rys. 1.

Kolejnym etapem badań był pomiar aktywności wody produktu po 21 dniach przechowywania w temp. 20°C w środowisku o aktywności wody $a_w = 0,07 \div 0,93$. Na podstawie przeprowadzonych badań (Rys. 2.) stwierdzono, że prawdopodobnie czas przechowywania założony w metodyce badań był zbyt krótki, by produkty umieszczone w higrostaty osiągnęły stan równowagi z otoczeniem.



Rys. 2. Aktywność wody badanych produktów

Przypuszczać można, że badany materiał w warunkach $a_w = 0,07 \div 0,11$ podlegał procesowi desorpcji. Natomiast w obszarze średnich aktywności wody $a_w = 0,23 \div 0,75$, badane produkty w większości osiągnęły stan równowagi – rys 2. Można przypuszczać, że w środowisku o aktywności wody $a_w = 0,84 \div 0,93$ stan równowagi nie został osiągnięty ze względu na krótki czas trwania doświadczenia.

Do opisu izoterm sorpcji badanych produktów zastosowano równanie (2) w zakresie aktywności wody $a_w = 0,07 \div 0,33$. W tab. 4 podano parametry równania BET: pojemność monowarstwy V_m , stałą energetyczną c , oraz współczynnik determinacji R^2 .

Model BET najlepiej charakteryzuje izotermy sorpcji pary wodnej

w zakresie $a_w = 0,07 \div 0,33$. Największą pojemnością monowarstwy wyznaczoną z modelu charakteryzował się produkt II B (Tab. 4). Produkt I charakteryzował się znacznie niższą pojemnością monowarstwy, która wynosiła 7,34 g/100 g s.s. Na podstawie uzyskanej wartości pojemności monowarstwy V_m obliczono powierzchnię właściwą sorpcji. Uzyskane wyniki wykazały, że większą powierzchnię właściwą sorpcji posiadał produkt II B. Otrzymane wyniki pozwalają wnioskować o wpływie składu surowcowego na wielkość powierzchni właściwej sorpcji.

Tab. 4. Parametry równania BET oraz powierzchnia właściwa sorpcji badanych produktów

Produkt	V_m	c_e	R^2	FitStdErr	Fstat	Powierzchnia właściwa sorpcji [m ² /g]
I	7,34	2,48	0,98	0,409	84,99	257
II A	21,34	6,37	0,95	0,798	36,71	437
II B	23,29	8,26	0,95	0,749	38,19	537

dla $n_{(i)} = n_{(ii)} = 3$

Stała energetyczna c_e odzwierciedla różnicę między entalpią desorpcji monowarstwy i entalpią parowania ciekłego adsorbentu [Paderewski, 1999]. Uzyskane wyniki $c_e \geq 2$ potwierdziły sigmoidalny kształt krzywych sorpcji i pozwoliły przypuszczać, że w badanych produktach zachodził jedynie proces sorpcji fizycznej.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że izotermy adsorpcji pary wodnej badanych suszy jabłkowych miały przebieg zgodny z III. typem izoterm wg klasyfikacji Brunauera. Niewielkie różnice w położeniu izotermy sorpcji pary wodnej produktu zakupionego w sieci detalicznej - *Crispy*, mogły prawdopodobnie wynikać z odmiennego procesu technologicznego oraz innych parametrów suszenia zastosowanych przez producenta.

Susze jabłkowe otrzymane w warunkach laboratoryjnych charakteryzowały się wyższą pojemnością warstwy monomolekularnej, wyznaczoną na podstawie równania BET, jak również wyższą powierzchnią właściwą sorpcji. Na podstawie przeprowadzonych badań oceny właściwości higroskopijnych można przypuszczać, że susze (chipsy) jabłkowe wytworzone w warunkach laboratoryjnych charakteryzowały się wyższą stabilnością przechowalniczą, a tym samym wyższą jakością w porównaniu z ocenianym produktem handlowym.

LITERATURA

- Łapczyńska-Kordon B., Krzysztofik B., 2008. Wpływ metod i parametrów suszenia na zmiany barwy suszów owocowo-warzywnych. *Inżynieria Rolnicza* 1(99), 251-257
- Nadian M., Rafiee S., Aghbashlo M., Hosseinpour S., Mohtasebi S., 2014. Continuous real-time monitoring and neural network modeling of apple slices color changes during hot air drying. *Food and Bioprocess Processing*, 94, 263-274. DOI: 10.1016/j.fbp.2014.03.005
- Ratti C., 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *J. Food Eng.*, 49, 311-319. DOI: 10.1016/S0260-8774(00)00228-4
- Stępień B., 2009. Modyfikacja cech mechanicznych i reologicznych wybranych warzyw pod wpływem różnych metod suszenia. Wyd. Uniw. Przyrodniczego, Wrocław, 9-21
- Vega-Gálvez A., Ah-Hen K., Chacana M., Vergara J., Martínez-Monzó J., García-Segovia P., Lemus-Mondaca R., Di Scala K., 2012. Effect of temperature and air velocity of drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. *Food Chemistry*, 132, 51-59. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.10.029
- Wesołowski A., 2009. Wpływ wybranych parametrów suszenia jabłek promieniami podczerwonymi na ich zdolność do pochłaniania wody. *Technica Agraria*, 8, 1-2, 23-32
- Nowacka M., Witrowa-Rajchert D., 2010. Zmiany właściwości higroskopijnych suszy jabłkowych w czasie przechowywania. *Acta Agrophysica*, 15, 2, 359-370
- Nowak D., Lewicki P. P., 2004. Infrared drying of apple slices. *Inn. Food Sci. Emerging Tech.*, 5, 3, 353-360. DOI: 10.1016/j.ifset.2004.03.003
- Brunauer S., Deming L.S., Deming W.E., Teller E., 1940. On the theory of van der Waals adsorption of gases. *J. Am. Chem. Soc.*, 62, 1723-1732. DOI: 10.1021/ja01864a025
- Rząca M., 2009. *Studia nad wykorzystaniem promieniowania podczerwonego i mikrofalowego do suszenia jabłek*. Praca doktorska. SGGW, Warszawa
- Paderewski M. L., 1999. *Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej*. WNT, Warszawa