

Millena RUSZKOWSKA

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

Wydział Przedsiębiorczości i Towaroznawstwa, Akademia Morska, Gdynia

Właściwości sorpcyjne produktów ekspandowanych na przykładzie produktów z kaszy jaglanej i amarantusa

Wstęp

Ekspandowanie to jeden z procesów termoplastycznej obróbki surowców, stosowany w przetwórstwie produktów zbożowych m.in. do produkcji wyrobów określanych jako żywność funkcjonalna czy wygodna [Christa, 2009a]. Proces ten polega na gwałtownym rozprężeniu uprzednio rozgrzanego i będącego pod wysokim ciśnieniem materiału w chwili przejścia do ciśnienia atmosferycznego (Rys. 1). Preparowane ziarno zbożowe (ziarno ekspandowane) produkowane jest z ryżu, pszenicy, owsa, jęczmienia, kukurydzy ale również z takich produktów, jak kasza jaglana oraz amarantus [Christa, 2009b].

Ekspandowanie umożliwia uzyskanie nowatorskich produktów spożywczych charakteryzujących się wieloma zaletami, [Christa, 2009b]. Istotne jest, aby w tych produktach utrzymać niski poziom wody aktywnej [Janowicz i in., 2007]. Tym samym otwarcie opakowania z produktem i wystawienie go na bezpośrednie działanie czynników takich jak wysoka wilgotność i temperatura może spowodować szybką zmianę wilgotności produktu pozabawiając go akceptowalnych cech sensorycznych [Ekielski i in., 2005; Galus i Lenart, 2011].

Celem przeprowadzonych badań było określenie trwałości preparowanej kaszy jaglanej i amarantusa ekspandowanego, z wykorzystaniem metod sorpcyjnych. Oceny właściwości sorpcyjnych dokonano metodą dynamiczną (określenie kinetyki i szybkości procesu sorpcji) oraz metodą statyczną na podstawie charakterystyki przebiegu izoterm sorpcji pary wodnej w badanych produktach.

Badania doświadczalne

Materiał badawczy

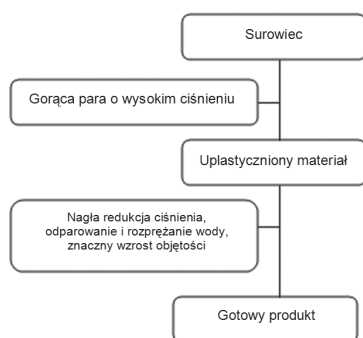
Materiał badawczy stanowiły 2 wyroby produkcji polskiej:
– PI: kasza jaglana preparowana, firmy Radix-Bix,
– PII: amarantus ekspandowany, z serii produktów Dobra Kaloria produkowanych przez firmę z Częstochowy.

Metodyka

Aktywność wody określono w aparacie AquaLab Seria 3 TE w temperaturze $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Zawartość wody, wyznaczono poprzez suszenie materiału przez okres 60 minut w temperaturze 130°C .

Tab. 1. Skład badanych produktów (na podstawie informacji deklarowanych przez producentów na opakowaniach badanych wyrobów)

Produkt	Skład surowcowy	Parametr	Wartość (100 g)
PI	Kasza jaglana preparowana, bez dodatku cukru	Brak informacji na opakowaniu	-
PII	Nasiona amarantusa	Wartość energetyczna (kJ/kcal)	1754/417
		Białko (g)	18
		Węglowodany (g)	63
		Tłuszcz (g)	8
		Błonnik (g)	14



Rys. 1. Schemat ekspandowania [Christa, 2009a]

Kinetykę sorpcji pary wodnej w badanych próbach oznaczano metodą dynamiczną, korzystając ze stanowiska pomiarowego umożliwiającego utrzymanie stałej temperatury pomiaru $20 \pm 1^\circ\text{C}$ oraz stałej aktywności wody w środowisku na poziomie $a_w = 0,44; 0,69; 0,85$. Kinetykę sorpcji pary wodnej wyznaczano w ciągu 24 h. Zmianę masy podczas procesu sorpcji rejestrowano, co 1-10 minut, wykorzystując program komputerowy Pomiar Win.

Interpretację kinetyk sorpcji stanowiły krzywe kinetyczne oraz krzywe szybkości sorpcji pary wodnej. Krzywe kinetyczne stanowiły graficzny zapis zmian ilości zaadsorbowanej wody (g/100 g s.s.) w czasie. Krzywe szybkości natomiast odzwierciedlały zmiany szybkości adsorpcji pary wodnej w czasie (g/(100 g s.s. min⁻¹)) i otrzymano je poprzez różniczkowanie krzywych kinetycznych metodą obliczeniową.

Metodą statyczną wyznaczono izotermę sorpcji pary wodnej. Próbkę przechowywano w higrostaty w temperaturze $20 \pm 1^\circ\text{C}$, przez 30 dni. W celu zapewnienia stałej wilgotności środowiska zastosowano nasycone roztwory soli o aktywności wody od 0,07 do 0,93 [Tyszkiewicz, 1987]. Na podstawie początkowej masy produktu oraz zmian jej zawartości w czasie, obliczono równowagowe zawartości wody i wykreślono izotermę sorpcji. Graficzną analizę wyników dokonano w arkuszu kalkulacyjnym pakietu Microsoft Office 2007. Na podstawie początkowej masy produktu oraz zmian jej zawartości w czasie, obliczono równowagowe zawartości wody i wyznaczono izotermę sorpcji.

Ocenę właściwości sorpcyjnych badanych produktów określono z wykorzystaniem równania Brunauera, Emmeta i Tellera (BET), w zakresie aktywności wody $0,07 \leq a_w \leq 0,33$ [Ościk, 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, [kJ·mol⁻¹];
- a_w – aktywność wody, [-].

Dopasowanie danych empirycznych do równania BET określono przez wyznaczenie wartości współczynnika determinacji (r^2) i dopasowanie błędu standardowego $FitStdErr$.

Znając zawartości wody w warstwie monomolekularnej zaadsorbowanej w temperaturze niższej od temperatury wrzenia oraz tzw. powierzchnię siadania cząsteczki wody, obliczono powierzchnię właściwą badanych produktów w oparciu o równanie [Paderewski, 1999]:

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

gdzie:

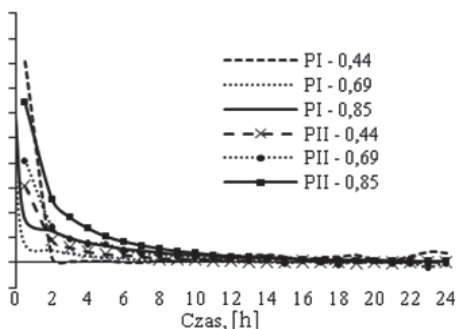
- a_{sp} – powierzchnia właściwa sorpcji, [m²/g s.s.],
- N – liczba Avogadra, [cząst./mol],
- M – masa cząsteczkowa wody, [g/mol].

Wyniki badań i dyskusja

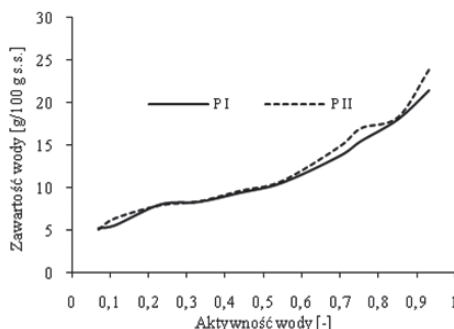
Na podstawie dokonanej oceny początkowej zawartości i aktywności wody w badanych produktach PI i PII, pobranych bezpośrednio z opakowania jednostkowego, stwierdzono że wyższą początkową zawartością wody jak i wyższą aktywnością wody charakteryzował się produkt I – kasza jaglana preparowana (Tab. 2).

Początkowa aktywność wody wskazywała na wysoką stabilność mikrobiologiczną ocenianych produktów PI i PII (Tab. 2).

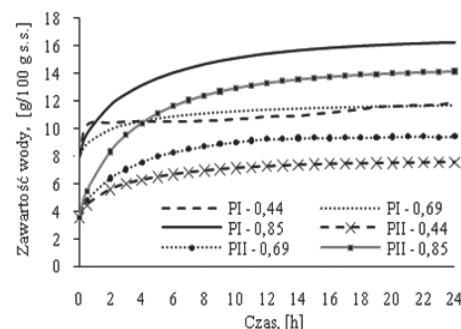
Na podstawie przeprowadzonej dynamicznej oceny właściwości sorpcyjnych badanych produktów stwierdzono (Rys. 2), że zmiany zawarto-



Rys. 2. Kinetyka sorpcji pary wodnej badanych produktów I i II



Rys. 3. Szybkość sorpcji pary wodnej produktów PI i PII



Rys. 4. Izoterma sorpcji pary wodnej produktu PI i PII w środowisku o aktywności wody 0,44; 0,69; 0,89

ści wody w czasie 24 h pomiaru uwarunkowane były przede wszystkim początkową zawartością wody (Tab. 1) w badanych produktach PI i PII, wilgotnością otoczenia oraz prawdopodobnie zmianami właściwości fizykochemicznych produktów w procesie ekspandowania.

Tab. 2. Początkowa wilgotność i aktywność wody badanych produktów PI i PII

Produkt	Zawartość wody g/100 g s.s.	SD	Aktywność wody -	SD
PI	7,83	0,0413	0,328	0,0046
PII	3,54	0,0336	0,137	0,0033

Zgodnie z badaniami *Ekielskiego* [2013b] oraz *Gondka i in.*, [2013] szybkość sorpcji zależy od wilgotności względnej środowiska, a zawartość wody w produktach ekstrudowanych niezależnie od środowiska stabilizuje się po 23÷25 h. W przeprowadzonych badaniach, stwierdzono, że w produktach PI i PII w środowisku o aktywności wody $a_w = 0,44$ i $a_w = 0,69$ zmiany zawartości wody najszybciej zachodziły w ciągu pierwszych 12 godzin badania (Rys. 3). Natomiast w środowisku o aktywności wody $a_w = 0,85$, w obu badanych produktach proces stabilizacji szybkości sorpcji przebiegał najintensywniej do 20 h pomiaru.

Wyznaczone metodą statyczną izotermy sorpcji pary wodnej badanych produktów ekspandowanych cechowały się kształtem sigmoidalnym, charakterystycznym dla produktów zawierających duże ilości skrobi (II typ izoterm wg klasyfikacji *Brunauera*) (Rys. 4). Oceniając kształt krzywych (Rys. 3) stwierdzono, że w zakresie aktywności wody $a_w = 0,11$ oraz $a_w = 0,33 \div 0,93$ wyżej leżała krzywa dla produktu II.

Przebieg wyznaczonych izoterm sorpcji opisano równaniem BET. Pojemność monowarstwy V_m wyznaczona na podstawie tego równania określa pojemność sorpcyjną produktów, a zatem dostępność miejsc polarnych dla pary wodnej. W przypadku produktu I pojemność monowarstwy równa była 5,93 g/100 g, co odpowiadało aktywności wody $a_w = 0,167$. Produkt II charakteryzował się nieznacznie mniejszą wartością pojemności warstwy monomolekularnej (5,83 g/100 g), a woda wypełniająca monowarstwę wykazywała również niższą aktywność $a_w = 0,160$ (Tab. 2) w porównaniu z produktem I.

Na podstawie uzyskanych wartości pojemności warstwy monomolekularnej i aktywności wody można przypuszczać, że niewielkie różnice wartości parametrów wynikały z różnic w budowie skrobi prosa i skrobi amarantusa oraz zmian jakie zachodzą w tych surowcach podczas procesu ekspandowania. Zmieniają się wówczas właściwości fizykochemiczne użytych surowców, a dotyczy to przede wszystkim skrobi, która pod wpływem wysokiej temperatury i cieniowania ulega kleikowaniu [*Christa, 2009a*] z równoczesną dekstrinizacją.

Powierzchnia właściwa sorpcji będąc pochodną pojemności warstwy monomolekularnej wykazała wyższe wartości dla produktu I (Tab. 3).

Tab. 3. Parametry równania BET badanych produktów PI i PII oraz powierzchnia właściwa sorpcji

Produkt	Parametry			r^2	FitStdErr	Powierzchnia właściwa sorpcji m^2/g s.s.
	V_m g/100 g	a_w -	C_e kJ·mol ⁻¹			
PI	5,93	0,167	49,603	0,950	0,576	208
PII	5,83	0,160	59,805	0,919	0,525	204

V_m – pojemność monowarstwy, a_w – aktywność wody, C_e – stała energetyczna; r^2 – współczynnik determinacji, FitStdErr – błąd standardowy dopasowania.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej dynamicznej oceny właściwości sorpcyjnych ekspandowanych produktów z kaszy jaglanej (prosa) i amarantusa stwierdzono, że kinetyka i szybkość procesu sorpcji pary wodnej determinowane były aktywnością wody środowiska oraz początkową zawartością wody w badanych produktach. Różnice wilgotności produktu i jego otoczenia warunkują różnicę potencjału wilgotnościowego i determinują siłę napędową badanych procesów [*Ruszkowska i in., 2006*].

Najprawdopodobniej różnice w budowie cząsteczek skrobi prosa i amarantusa także odgrywały znaczącą rolę w kształtowaniu kinetyki i szybkości procesu sorpcji.

Izotermy sorpcji badanych produktów miały kształt sigmoidalny i charakteryzowały się podobnym przebiegiem, jednakże ekspandowany amarantus wykazywał nieznacznie wyższą pojemność sorpcyjną w zakresie aktywności wody $a_w = 0,33 \div 0,93$.

Na podstawie przeprowadzonej oceny właściwości sorpcyjnych, stwierdzono że badane produkty charakteryzowały się zbliżoną trwałością przechowalniczą uwarunkowaną procesami zależnymi od aktywności wody.

LITERATURA

- Christa K., 2009a. Ekspandowane i ekstrudowane wyroby zbożowe – definicje podstawowe i możliwości zastosowań. *Przegl. Zboż.-Młyn.*, **53**, nr 3, 12-13
- Christa K., 2009b. Możliwość zastosowania gryki jako surowca w procesie ekstruzji. *Przegl. Zboż.-Młyn.*, **53**, nr 4, 12
- Ekielski A., Biller E., Żelaziński T., 2005. Wpływ wybranych parametrów procesu ekstruzji na zmiany barwy ekstrudatu. *Inż. Roln.*, **9**, nr 10, 65-73
- Ekielski A., Powalka M., Żelaziński T., 2013. Wpływ rozwinięcia powierzchni ekstrudatu na dynamikę sorpcji wody w różnych warunkach przechowalniczych. *Inż. Roln.*, nr 1 (141), 31-38
- Galus S., Lenart A., 2011. Wpływ białka i glicerolu na kinetykę adsorpcji pary wodnej przez powłoki sojowe. *Postępy Tech. Przetw. Spoż.*, nr 1, 9-13
- Godek E., Jakubczyk E., Wiczorek B., 2013. Właściwości fizyczne bezglutenowego pieczywa chrupkiego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, **574**, 29-38
- Krelowska-Kulaś M., 1993. *Badanie jakości produktów spożywczych*. PWE, Warszawa
- Janowicz M., Lenart A., Sikora K., 2007. Adsorpcja pary wodnej przez ciastka biszkoptowe wielowarstwowe. *Inż. Roln.*, **11**, nr 5, 205-211
- Ościł J., 1993. *Adsorpcja*. PWN, Warszawa
- Paderewski M., 1999. *Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej*. WNT, Warszawa
- Tyszkiewicz S., 1987. Aktywność wody produktów spożywczych. Definicja. Metody bezwzględnej pomiaru. *Wzorce. Przem. Spoż.*, nr 2, 51
- Ruszkowska M., 2012a. Właściwości sorpcyjne mąk przeznaczonych do wypieku chleba w warunkach domowych. *Acta Agroph.*, **19**, nr 1, 111-121
- Ruszkowska M., 2012b. *Właściwości sorpcyjne wybranych produktów gryczanych* [w:] Zieliński R., Żuchowski J. (red.). Wybrane aspekty jakości żywności. 62-71
- Ruszkowska M., Ociecek A., Palich P., 2006. Właściwości sorpcyjne grzanek zawartych w zupach instantyzowanych. *ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość*, nr 2, (47), Supł. 271-279