

## WPŁYW DODATKU BŁONNIKA NA WŁAŚCIWOŚCI SORPCYJNE OWOCOWYCH NADZIEŃ CUKIERNICZYCH

Ewa Gondek, Ewa Jakubczyk, Bogumił Jażdzyk  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Streszczenie.** W pracy badano żele wieloowocowe stosowane jako dodatki w produkcji cukierniczej. Celem podjętych badań była próba ograniczenia procesu dyfuzji wody w produkcie. Zmodyfikowano recepturę produktu handlowego, wzbogacając jego skład o dodatek preparatów błonnika różnego pochodzenia. W pracy analizowano właściwości sorpcyjne produktu standardowego oraz próbek z dodatkiem błonnika jabłkowego, marchwiowego i pszennego w warunkach statycznych i dynamicznych. Uzyskano izotermy sorpcji III typu, według klasyfikacji Brunauera i innych [1940]. Proces desorpcji wody w warunkach dynamicznych badano w środowisku o aktywności wody zbliżonej do zera. Uzyskane krzywe kinetyczne opisano równaniem dyfuzji nieustalanej Ficka. Wyznaczono efektywny współczynnik dyfuzji wody oraz wilgotność równowagową przy nieskończone długim czasie przechowywania produktu. Wykazano, że dodatek preparatów błonnika wpływał na właściwości sorpcyjne badanych produktów, co skutkowało obniżeniem efektywnego współczynnika dyfuzji wody oraz zmianami przebiegu izoterm sorpcji.

**Słowa kluczowe:** sorpcja, nadzienia cukiernicze, błonnik, dyfuzja

### WSTĘP

Współczesne produkty cukiernicze to bardzo często żywność o złożonym i zróżnicowanym składzie, w której sąsiadują ze sobą obszary różniące się zawartością wody i jej aktywnością – do tej grupy zaliczamy różnego rodzaju ciastka, batoniki, cukierki i żelki z nadzieniem. Zapewnienie wysokiej jakości tego rodzaju produktom jest trudnym zadaniem, ponieważ zarówno podczas przechowywania produktu gotowego, jak i w fazie jego produkcji między poszczególnymi składnikami zachodzi wymiana masy

[Roca i in. 2008, Bourlieu i in. 2010]. Bardzo ważnym elementem, z punktu widzenia jakości produktu gotowego, są nadzienia cukiernicze, wśród których największe zastosowanie mają nadzienia produkowane na bazie owoców.

Podczas przechowywania woda znajdująca się w nadzieniu dyfunduje do ciasta, wskutek czego nadzienie wysycha, a część zbożowa traci pożądane przez konsumentów cechy tekstury, jak kruchość czy chrupkość. Następstwem takiego procesu może być nie tylko utrata jakości sensorycznej produktu, ale w skrajnych przypadkach także zepsucie produktu. Z dostępnych danych literaturowych wynika, że o szybkości procesu dyfuzji wody decydują właściwości mokrych składników takiego układu [Gondek i Lewicki 2007]. Znaczącą przyczyną przemieszczania się wody wewnątrz produktu gotowego, można ograniczać ten proces na kilka sposobów, na przykład oddzielić składniki jadalną warstwą barierową, zmniejszyć porowatość układu, wyrównać aktywność wody składników lub zwiększyć ich lepkość [Labuza i Hymann 1998, Lenart i Witrowa-Rajchert 2010]. Dodatek do żywności substancji chłonących wodę powoduje jej związanie, co skutkuje ograniczeniem mobilności cząsteczek, a więc aktywności wody, i zmniejsza siłę napędową procesu dyfuzji wody. Na proces migracji wody w żywności wieloskładnikowej wpływają zarówno czynnik równowagowy (termodynamiczny), jak i kinetyczny (dynamika ruchu masy). Kontrola dyfuzji wody w tego typu produktach jest niezbędna dla zapewnienia ich jakości sensorycznej i bezpieczeństwa mikrobiologicznego. Pierwszym krokiem do poznania procesu jest analiza właściwości sorpcyjnych i wyznaczenie współczynników dyfuzji wody. Nadzienia cukiernicze to produkty o złożonym składzie i strukturze, a przewidywanie ich właściwości sorpcyjnych na podstawie przesłanek teoretycznych nie jest możliwe, konieczne jest wyznaczenie ich właściwości sorpcyjnych w sposób eksperymentalny.

Celem podjętych badań była próba ograniczenia procesu desorpcji wody z produktów wieloowocowych stosowanych jako dodatki w produkcji cukierniczej przez wzbogacenie ich składu o preparaty błonnikowe różnego pochodzenia.

## MATERIAŁ BADAWCZY

Materiał badawczy stanowiły wieloowocowe żele pektynowe stosowane jako dodatki cukiernicze. Oryginalne receptury opracowane i stosowane w praktyce przemysłowej przez lokalny zakład przetwórstwa owocowo-warzywnego zostały zmodyfikowane w celu uzyskania lepszej zdolności wiązania wody przez produkt. Nadzienia cukiernicze wyprodukowane zostały w warunkach przemysłowych na bazie następujących przecierów: jabłkowego (Idared), śliwkowego, aroniowego i porzeczkowego, z dodatkiem cukru krystalicznego, kwasu cytrynowego i pektyny (WECJ-3 Pektowin Jasło). Modyfikacja składu produkowanych przemysłowo nadzień cukierniczych polegała na dodatku preparatów błonnika (1% w stosunku do suchej masy): jabłkowego (MicroJET Poland), pszennego (Agrol), marchwiowego (Amco). Próbę kontrolną stanowiło nadzienie bez dodatku błonnika.

## METODY ANALITYCZNE

Aktywność wody uzyskanych nadzień mierzono za pomocą urządzenia Aqua Lab w temperaturze  $25 \pm 1,5^\circ\text{C}$ , zawartość wody oznaczono według normy PN-ISO 1026:2000.

Izotermy sorpcji analizowanych nadzień badano metodą statyczno-eksykatorową. Próbki przechowywano w 10 ekzykatorach (higrostatach) o zróżnicowanej wilgotności względnej środowiska, w każdym z nich dzięki obecności roztworów higrostatycznych zapewniona była stała wilgotność względna środowiska (tab. 1).

Tabela 1. Aktywność wody nasyconych roztworów soli w temperaturze  $25^\circ\text{C}$  stosowanych jako czynniki higrostatyczne [Spiess i Wolf 1987]

Table 1. Water activity of saturated water salt solution at  $25^\circ\text{C}$  [Spiess and Wolf 1987]

Stosowana substancja Chemical substance	$a_w$
CaCl <sub>2</sub> (bezwodny, anhydrous)	0,000
LiCl	0,113
CH <sub>3</sub> COOK	0,225
MgCl <sub>2</sub>	0,328
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,432
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,529
NaNO <sub>2</sub>	0,648
NaCl	0,753
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,810
(NH <sub>4</sub> )H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,930

Pomiary właściwości sorpcyjnych w warunkach dynamicznych zostały zrealizowane na stanowisku zapewniającym stały pomiar masy badanego materiału. Próbki nadzień poddane badaniu umieszczono w plastikowych naczynkach w kształcie otwartego walca, na podwieszanej szalce wagi analitycznej (RADWAG WAS 220/C/2), podłączonej do komputera. Próbki umieszczano w komorze nad bezwodnym chlorkiem. W trakcie doświadczenia w sposób ciągły (co 3 minuty) dokonywano pomiaru masy badanego materiału, wyniki rejestrowano przy użyciu programu „Pomiar-Win” v.3. (Radwag).

**Metody obliczeniowe.** Uzyskane zależności zawartość wody – aktywność wody zostały opisane za pomocą modelu Pelega [1993]:

$$u = Ca_w^B + Da_w^E \quad (1)$$

gdzie:  $u$  – równowagowa zawartość wody [ $\text{g H}_2\text{O} \cdot (100 \text{ g s.s.})^{-1}$ ],  
 $a_w$  – aktywność wody,  
 $C, B, D, E$  – stałe modelu.

Krzywą kinetyki desorpcji pary wodnej przez owocowe nadzień cukiernicze w układzie zawartość wody – czas opisano równaniem Ficka dla dyfuzji nieustalanej [Crank 1975]:

$$u = u_r + A \cdot (u_0 - u_r) \exp(-K\tau) \quad (2)$$

gdzie:  $u$  – zawartość wody po czasie  $\tau$  [g H<sub>2</sub>O·(100 g s.s.)<sup>-1</sup>],  
 $u_0$  – początkowa zawartość wody [g H<sub>2</sub>O·(100 g s.s.)<sup>-1</sup>],  
 $u_r$  – równowagowa zawartość wody [g H<sub>2</sub>O·(100 g s.s.)<sup>-1</sup>],  
 $A$  – współczynnik kształtu (stała),  
 $K$  – stała powiązana ze współczynnikiem dyfuzji,  
 $\tau$  – czas [min].

Obliczono efektywny współczynnik dyfuzji wody w badanej próbce [Crank 1975]:

$$D_{ef} = K \cdot (L)^2 \quad (3)$$

gdzie:  $D_{ef}$  – efektywny współczynnik dyfuzji [m<sup>2</sup>·min<sup>-1</sup>],  
 $K$  – stała,  
 $L$  – droga dyfuzji [m].

## ANALIZA STATYSTYCZNA

Analizę regresji zależności zawartości wody od aktywności wody i krzywych kinetycznych przeprowadzono przy wykorzystaniu programów Table Curve 2D v 5.01 oraz arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel 2010.

Ocenę dopasowania modelu Pelega oraz równania dyfuzji nieustalonej Ficka do danych empirycznych przeprowadzono na podstawie obliczenia wartości współczynnika determinacji ( $R^2$ ), a także średniego błędu kwadratowego  $RMS$  oraz zredukowanego testu  $\chi^2$ , korzystając z zależności:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum \left( \frac{u_e - u_o}{u_e} \right)^2}{N}} \cdot 100\% \quad (4)$$

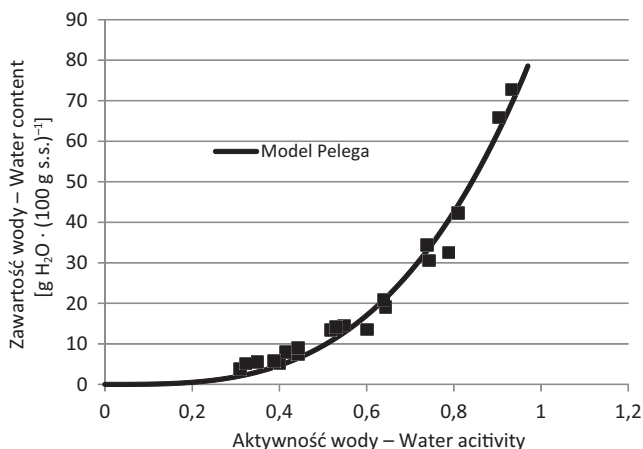
gdzie:  $u_e$  – równowagowa zawartość wody wyznaczona eksperymentalnie [g H<sub>2</sub>O·(100 g s.s.)<sup>-1</sup>],  
 $u_o$  – prognozowana równowagowa zawartość wody [g H<sub>2</sub>O·(100 g s.s.)<sup>-1</sup>],  
 $N$  – liczba danych;

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (u_e - u_o)^2}{N - n} \quad (5)$$

gdzie:  $u_e$  – równowagowa zawartość wody wyznaczona eksperymentalnie [g H<sub>2</sub>O·(100 g s.s.)<sup>-1</sup>],  
 $u_o$  – prognozowana równowagowa zawartość wody [g H<sub>2</sub>O·(100 g s.s.)<sup>-1</sup>],  
 $N$  – liczba danych,  
 $n$  – liczba stałych w równaniu.

## OMÓWIENIE I Dyskusja Wyników

Wszystkie uzyskane w pracy izotermy sorpcji wody reprezentowały typ III, według klasyfikacji Brunauera i innych [1940], charakterystyczny dla produktów spożywczych zawierających w swoim składzie dużą ilość substancji krystalicznych, takich jak cukry proste czy kwasy (rys. 1). Uzyskane w pracy zależności zawartości wody od jej aktywności zostały opisane modelem Pelega, a stałe modelu uzyskane z analizy regresji podano w tabeli 2. Izotermy tego typu są charakterystyczne dla wielu przetworów owocowych, na przykład suszonych owoców papai [Palou i in. 1995], owoców kandyzowanych [Gondek i Lewicki 2005], suszonego pianowo purée owocowego [Gondek i Jakubczyk 2009], fig [Ansari i in. 2011], rodzynek [Bolin i in. 1980, Tsami i in. 1990, Gondek i Lewicki 2005]. Brakiem punktu przegięcia przy małej aktywności wody cechowały się również izotermy cukru krystalicznego [Tamborski 2009], truskawek [Ciurzyńska i Lenart 2007] i bananów [Yan i in. 2008].



Rys. 1. Izoterma sorpcji owocowego nadzienia cukierniczego bez dodatku błonnika

Fig. 1. Moisture sorption isotherm of investigated fruit filling without fiber addition

Tabela 2. Stałe równania Pelega uzyskane na podstawie analizy regresji uzyskanych izoterm sorpcji

Table 2. Constants of Peleg's equation obtained from regression analysis

Parametr Parameter	Błonnik jabłkowy Apple fiber	Błonnik marchwiowy Carrot fiber	Błonnik pszenny Wheat fiber	Próba kontrolna No fiber addition
R <sup>2</sup>	0,991	0,970	0,986	0,988
RMS [%]	16,66	16,03	17,09	23,97
$\chi^2$	4,612	7,11	11,93	7,05
C	106,63	105,13	118,95	137,50
B	4,18	3,09	5,13	5,39
D	2,47	3,603	12,4703	3,35
E	0,05	4,62	0,7291	0,04

Próbki nadzień cukierniczych były umieszczane w higrostatkach bezpośrednio po produkcji, nie były przed badaniem suszone ani uwadniane (aktywność i zawartość wody produktów poddawanych badaniu zestawiono w tab. 3). Oznacza to, że przedstawione w pracy krzywe – od początkowej aktywności wody (podanej w tab. 3) do aktywności wody dążącej do jedności – obrazują proces adsorpcji, część zaś krzywej, przebiegająca od tego punktu do zera, opisuje proces desorpcji. Tak przeprowadzony eksperyment pozwala na obserwację reakcji badanego materiału na ekspozycję na środowisko o różnej aktywności wody. W zakresie zbliżonym do początkowej aktywności wody produktu nie obserwowano nieciągłości krzywej, która mogłaby być objawem histerezy. Z literatury wynika jednak, że wielkość histerezy, jej kształt oraz punkty początkowy i końcowy pętli produktów spożywczych mogą znacznie się różnić [Cybulska 2002]. W przypadku niektórych produktów histereza nie występuje, na przykład dla suszonych i odwadnianych owoców [Tsami i in. 1990] lub występuje przy bardzo małej aktywności wody. Istnieje też pogląd, że aktywność wody, przy której występuje histereza, jest odwrotnie proporcjonalna do zawartości cukrów w materiale [Bolin 1980].

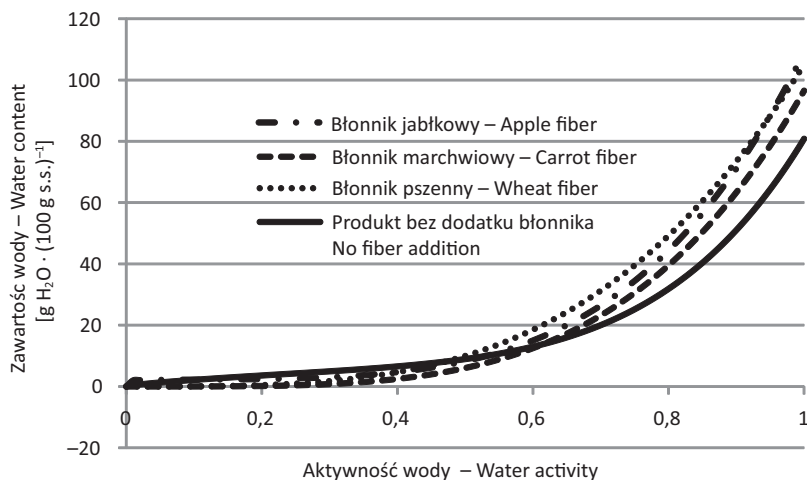
Tabela 3. Początkowa zawartość i aktywność badanych produktów bezpośrednio po produkcji  
Table 3. Initial water content and water activity of investigated materials

Rodzaj produktu Type of material	Początkowa aktywność wody Initial water activity $a_w$	Początkowa zawartość wody Initial water content [%]
Błonnik jabłkowy Apple fiber	0,835 <sup>c</sup>	30,64 <sup>c</sup>
Błonnik marchwiowy Carrot fiber	0,807 <sup>b</sup>	29,33 <sup>b</sup>
Błonnik pszeniczny Wheat fiber	0,784 <sup>a</sup>	29,63 <sup>b</sup>
Bez dodatku błonnika No fiber addition	0,834 <sup>c</sup>	28,65 <sup>a</sup>

Wartości oznaczone tymi samymi literami (w kolumnach) nie różnią się istotnie statystycznie przy  $\alpha = 0,05$ .  
Mean values followed by the same letters (in columns) do not differ significantly at  $\alpha = 0,05$ .

Uzyskane izotermy sorpcji opisano półempirycznym, czteroparametrowym modelem Pelega [Peleg 1993]. Według Lewickiego [1998] model ten lepiej nadaje się do opisu przebiegu izoterm sorpcji pary wodnej w przypadku żywności niż stosowany powszechnie model GAB. Model Pelega sprawdza się zarówno przy izotermach II, jak i III typu, jest on sumą dwóch parabol – pierwsza, o osi poziomej, ma istotne znaczenie w izotermach sigmoidalnych, natomiast druga, o osi pionowej, dominuje w izotermach III typu.

Owocowe nadzienia cukiernicze należą do grupy produktów spożywczych o średniej zawartości wody, poziom aktywności wody w tej grupie oscyluje między 0,55 i 0,90. Aktywność produktów uzyskanych w ramach pracy zawierała się w przedziale od 0,74 do 0,84 (rys. 2), co odpowiada III strefie izoterm sorpcji, w której występuje woda najsłabiej związana przez produkt (woda uwieczona lub wolna) [Pałacha i Sitkiewicz 2010].

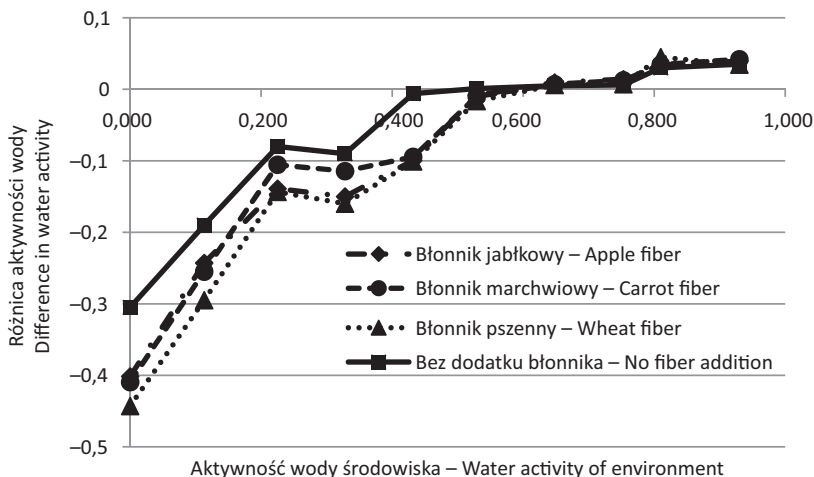


Rys. 2. Izotermy sorpcji badanych produktów opisane modelem Pelega

Fig. 2. Moisture sorption isotherms of investigated product fitted with Peleg's equation

W zakresie małych wartości aktywności wody (do 0,5) nie obserwowano wpływu dodatku błonnika na przebieg izoterm sorpcji. Zastosowanie dodatku preparatów błonnikowych wykazywało skuteczne działanie w postaci wiązania wody w produkcie od aktywności wody 0,5–0,6. W tym zakresie obserwowano przecięcie się izoterm odniesienia uzyskanej dla produktu bez dodatków (linia ciągła na rys. 2) z pozostałymi izotermami. Powyżej aktywności wody 0,7 izotermy wszystkich produktów wzbogaconych w błonnik były położone powyżej izoterm odniesienia, a najskuteczniejsze działanie spośród zastosowanych wykazywał preparat błonnika pszennego. Efekt działania błonnika pojawił się w trzeciej strefie krzywej sorpcji, razem z pojawieniem się wody wolnej lub uwięzionej fizycznie. Woda ta, cechująca się największym potencjałem dyfuzyjnym, została zaadsorbowana przez dodane preparaty błonnika. Różnice między poszczególnymi wariantami eksperymentu tłumaczyć można istotnie zróżnicowanym składem preparatów błonnikowych pochodzących ze zbóż oraz owoców i warzyw. Cechą charakterystyczną błonnika pszennego jest występowanie znacznej ilości hemiceluloz i lignin o dużym potencjale wiązania wody, podczas gdy błonnik pochodzący z owoców zawiera głównie pektyny i celulozę.

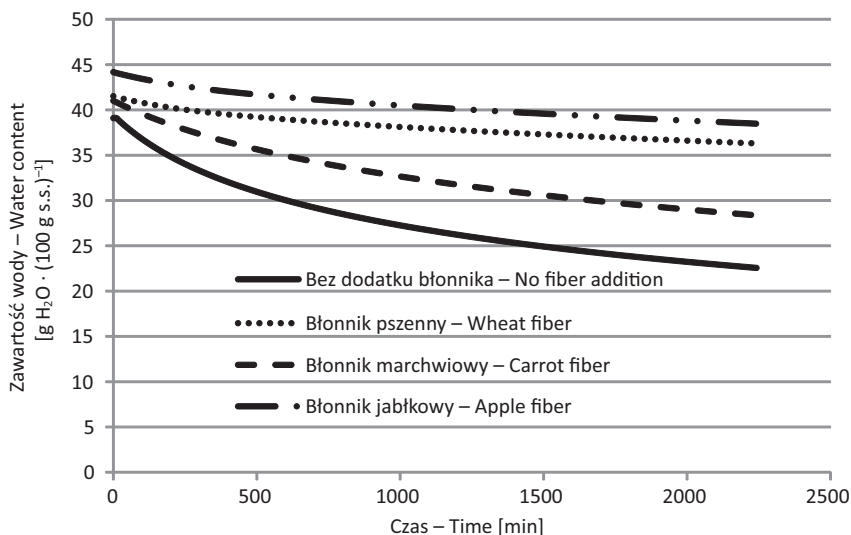
Pomiary aktywności wody badanych produktów, wykonane po trzech miesiącach przechowywania w higrostatkach o stałej wilgotności względnej, dowiodły, że okres ten jest zbyt krótki, aby materiał badawczy mógł osiągnąć stan równowagi. Największe różnice między aktywnością wody środowiska a aktywnością wody zmierzoną w produkcie zaobserwowano w środowiskach o małych wartościach aktywności wody, w których produkty podlegały procesowi desorpcji (rys. 3), a ten, jak wykazano, zazwyczaj przebiega wolniej niż proces adsorpcji wody. Uzyskane wyniki potwierdzają pogląd, że w metodzie statyczno-eksykatorowej konieczne są pomiary aktywności wody produktów po przechowywaniu [Lewicki i Pomarańska-Łazuka 2003, Gondek i Lewicki 2005].



Rys. 3. Różnica między aktywnością wody materiału po trzymiesięcznym przechowywaniu i aktywnością wody środowiska w funkcji aktywności wody środowiska

Fig. 3. The differences between water activity of material after 3 months of storage and water activity of environment as a function of water activity of environment

Krzywe kinetyczne desorpcji pary wodnej owocowych nadzień cukierniczych o zmodyfikowanym składzie przedstawiono na rysunku 4. Uzyskane wyniki opisano równaniem dyfuzji nieustalanej Ficka, a w tabeli 4 umieszczono parametry tego równania. Modyfikacja składu nadzień miała na celu związanie wody w nich zawartej i ograniczenie procesu dyfuzji. Ograniczenie procesu desorpcji i zatrzymanie wody



Rys. 4. Krzywe desorpcji badanych produktów w środowisku o aktywności wody 0,00

Fig. 4. Moisture sorption kinetics curves at environment water activity of 0,00



w produkcji powinno skutkować obniżeniem efektywnego współczynnika dyfuzji i wzrostem równowagowej zawartości wody, tj. wilgotności produktu po nieskończonej dłużej czasie przechowywania. Stwierdzono, że największą równowagową zawartością wody cechowały się produkty z dodatkiem błonnika jabłkowego i pszennego, odpowiednio 26,81 i 26,24 g H<sub>2</sub>O·(g s.s.)<sup>-1</sup>, produkt bez dodatku błonnika cechował się równowagową zawartością wody o ponad 40% mniejszą, rzędu 18,23 g H<sub>2</sub>O·(g s.s.)<sup>-1</sup>.

W tabeli 4 umieszczono również wartości wyznaczone na podstawie równania Ficka efektywnego współczynnika dyfuzji wody ( $D_{ef}$ ). Ponieważ współczynnik ten w sposób istotny zależy od geometrii układu [Tutuncu i Labuza 1996, Gondek i Lewicki 2005], dlatego doświadczenia zostały przeprowadzone w cylindrycznym naczyniu, co zapewniało powtarzalny kształt i wielkość próby. Dostępne w literaturze współczynniki dyfuzji wody w produktach żywnościowych zawierają się w przedziale od 10<sup>-9</sup> do 10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>. Mniejsze wartości tego współczynnika dotyczą produktów o budowie tkankowej, na przykład owoców czy warzyw, jak również żeli, a większe wartości – produktów porowatych, jak susze sublimacyjne czy produkty zbożowe [Labuza i Hymann 1998, Zawislak i Lisowa 2002, Lenart i Witrowa-Rajchert 2010].

Tabela 4. Parametry równania Ficka uzyskane na podstawie analizy regresji

Table 4. Coefficients of Fick's equation obtained using regression analysis

Parametr Parameter	Błonnik jabłkowy Apple fiber	Błonnik marchwiowy Carrot fiber	Błonnik pszenny Wheat fiber	Bez dodatku błonnika No fiber addition
R <sup>2</sup>	0,994	0,995	0,996	0,996
RMS [%]	0,58	0,56	0,51	0,61
$\chi^2$	4,56 · 10 <sup>-6</sup>	4,84 · 10 <sup>-6</sup>	3,71 · 10 <sup>-6</sup>	4,51 · 10 <sup>-6</sup>
$u_r$	26,81	22,52	26,24	18,23
$A$	0,859	0,911	0,907	0,812
$D_{ef}$ [m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	4,02 · 10 <sup>-11</sup>	4,29 · 10 <sup>-11</sup>	3,02 · 10 <sup>-11</sup>	4,94 · 10 <sup>-11</sup>

Dodatek wszystkich badanych preparatów błonnika wpływał na zmniejszenie wartości uzyskanych współczynników dyfuzji wody. Najniższy współczynnik dyfuzji wody wyznaczono podczas badania procesu desorpcji wody z produktu zawierającego dodatek błonnika pszennego (o 38% w stosunku do produktu bez dodatku błonnika), najmniejsze zmiany wywołał dodatek błonnika marchwiowego (13%).

Współczynniki  $K$  równania Ficka, informujące o intensywności procesu dyfuzji wody z suszonych owoców i płatków zbożowych, wyznaczone w analogicznie przeprowadzonym eksperymencie, przedstawiono w pracy Gondek i Lewickiego [2007], jednak ze względu na nieregularność kształtu badanych produktów niemożliwe było obliczenie efektywnego współczynnika dyfuzji wody. Wartości parametru  $A$ , wyznaczone metodą analizy regresji, wahały się w przedziale od 0,812 do 0,911 i były zbliżone do teoretycznego współczynnika kształtu płyty nieskończonej ( $8 \cdot \pi^2$ ), co odpowiadało geometrii układu zastosowanej w pracy.

## WNIOSKI

1. Wyznaczone w pracy izotermy sorpcji pary wodnej owocowych nadzień cukier- niczych odpowiadały typowi III, według klasyfikacji Brunauera i innych [1940], i były dobrze opisane czteroparametrowym równaniem Pelega.

2. Pomiary aktywności wody badanych produktów potwierdziły podgląd, że desorp- cja przebiega wolniej niż adsorpcja wody i wykazały, że produkt podlegający desorpcji nie osiąga stanu równowagi po trzymiesięcznym przechowywaniu.

3. Wszystkie zastosowane w pracy preparaty błonnikowe modyfikowały właściwości sorpcyjne badanego produktu, wiążąc wodę w nim zawartą i ograniczając jej dyfuzyjność.

4. Spośród badanych preparatów błonnikowych substancją najsilniej wiążącą wodę w produkcie okazał się błonnik pszenny, co wykazano na podstawie wyznaczonych współczynników dyfuzji wody, jak również pomiarów wilgotności równowagowej uzy- skanej z pomiarów statycznych i dynamicznych. Dodatkowo, ze względu na cechy proz- drowotne, dodatek błonnika pszennego może stanowić korzystną, z żywieniowego punk- tu widzenia, alternatywę dla innych dodatków stosowanych w tego typu produktach.

## LITERATURA

- Ansari S., Farahnaky A., Majzoobi M., Badii F., 2011. Modeling the effect of glucose syrup on the moisture sorption isotherm of figs. *Food Biophysics* 6 (3), 377–389.
- Bolin H.R., 1980. Relation of moisture to water activity in prunes and raisins. *Journal of Food Science* 45, 1190–1192.
- Bourlieu C.A., Guillard V.B., Powell H.C., Vallés-Prímes B.D., Guilbert S.A., Gontard N.B., 2010. Modelling and control of moisture transfers in high, intermediate and low aw composite food. *Food Chemistry* 106 (4), 1350–1358.
- Brunauer S., Deming L.S., Deming W.E., Teller E., 1940. On the theory of van der Waals adsorp- tion of gases. *Journal of the American Chemical Society* 62, 1723–1732.
- Ciurzyńska A., Lenart A., 2007. Wpływ rodzaju substancji osmotycznej na adsorpcję pary wodnej przez liofilizowane truskawki. *Inżynieria Rolnicza* 5 (93), 53–62.
- Crank J., 1975. *Mathematics of diffusions*. Oxford University Press, London.
- Cybulska E.B., 2007. Woda jako składnik żywności. W: *Chemia żywności. Składniki żywności*. Red. Z.E. Sikorski. WNT, Warszawa, 46–84.
- Gondek E., Jakubczyk E., 2009. Izotermy sorpcji pary wodnej proszku jabłkowego uzyskanego metodą suszenia pianowego. *Acta Agrophysica* 13 (3), 639–649.
- Gondek E., Lewicki P.P., 2005. Izotermy sorpcji pary wodnej suszonych i kandyzowanych owo- ców. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria* 4 (1), 63–71.
- Gondek E., Lewicki P.P., 2007. Kinetics of Water Vapour Sorption by Selected Ingredients of Mues- li – Type Mixtures. *Polish Journal Food and Nutrition Sciences* 57 (3A), 23–26.
- Labuza T.P., Hymann C.R., 1998. Moisture migration and control in multidomain foods. *Trends in Food Science & Technology* 9, 47–55.
- Lenart A., Witrowa-Rajchert D., 2010. Właściwości dyfuzyjne. W: *Właściwości fizyczne żywno- ści*. Red. P. Pałacha, I. Sitkiewicz. WNT, Warszawa, 206–222.
- Lewicki P.P., 1997. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. *International Journal of Food Science and Technology* 32 (6), 553–557.
- Lewicki P.P., Pomarańska-Lazuka W., 2003. Errors in static desiccation method of water sorption isotherms estimation. *International Journal of Food Properties* 6 (3), 557–563.

- Palou E., Lopez-Malo A., Corte P., Welti J., Argaiç A., 1995. Moisture sorption characteristics of blanched and osmotically treated papaya. IFT Annual Meeting. FSTA (abstract).
- Pałacha Z., Sitkiewicz I., 2010. Właściwości fizyczne żywności. WNT, Warszawa.
- Peleg M., 1993. Assessment of a semi – empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. *Journal of Food Process Engineering* 16 (1): 21–54.
- PN-ISO 1026:2000 Produkty owocowe i warzywne. Oznaczanie zawartości suchej substancji w wyniku suszenia przy obniżonym ciśnieniu i zawartości wody w wyniku destylacji azeotropowej.
- Roca E., Broyart B., Guillard V., Guilbert S., Gontard N., 2008. Predicting moisture transfer and shelf-life of multidomain food products. *Journal of Food Engineering* 86, 74–83.
- Spies W.E.L., Wolf W., 1987. Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. In: *Water Activity: Theory and Applications to Food*. Ed. L.B. Rockland, L.R. Beuchat. CRC Press, New York, 215–234.
- Tamborski Z., 2009: Wpływ temperatury na przebieg izoterm sorpcji wody przez cukier. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 5 (66), 72–82.
- 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.
- Tutuncu M.A., Labuza T.P., 1996. Effect of geometry on the effective moisture transfer diffusion coefficient. *Journal of Food Engineering* 30, 433–447.
- Yan Z., Sousa-Gallagher M.J., Oliveira F.A.R., 2008. Sorption isotherms and moisture sorption hysteresis of intermediate moisture content banana. *Journal of Food Engineering* 86 (3), 342–348.
- Yang L., Paulson A.T., 2000. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. *Food Research International* 33, 571–578.
- Zawiślak R., Lisowa H., 2002. Wpływ stopnia rozdrobnienia jabłka na wartości efektywnego współczynnika dyfuzji wody podczas suszenia w warunkach konwekcji wymuszonej. *Acta Scientiarum Polonorum, Technica Agraria* 1 (2), 33–41.

## INFLUENCE OF FIBER ADDITION ON SORPTION PROPERTIES OF MULTI-FRUIT FILLINGS

**Summary.** Multi-fruit fillings as a component of confectionery products were investigated in this work. The aim of the investigation was to reduce the diffusion of water within the product. The original recipe of fruit fillings were enriched with the dietary fiber of different formulations. The sorption properties of the standard product and samples with addition of fiber (apple, carrot and wheat), were analyzed using static and dynamic methods. The experimental data fitted well with Peleg's equation. The obtained curves represented IIIrd type of Brunauer et al. [1940] isotherms classification. The desorption of water was tested under dynamic conditions in the environment at water activity close to zero. The obtained kinetic curves were fitted with Fick's equation. The effective diffusion coefficient of water, and the equilibrium moisture content at an infinitely long time of the product storage were calculated. It has been shown that the addition of dietary fiber preparations affected the sorption properties of the tested products which resulted in a reduction of the effective diffusion coefficient of water and changes in shape of the moisture sorption isotherms.

**Key words:** sorption properties, diffusion of water, fruit fillings