

Mgr inż. Anna STĘPIEŃ
Dr hab. inż. Mariusz WITCZAK
Dr inż. Teresa WITCZAK
Inż. Marcin CZADER
Katedra Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego
Wydział Technologii Żywności
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

IZOTERMY SORPCJI MALTODEKSTRYNY PRZEMYSŁOWEJ O RÓŻNYM STOPNIU SCUKRZENIA®

Sorption isotherms of commercial maltodextrins with different
dextrose equivalent®

Badania zostały sfinansowane przez MNiSW w ramach projektu BM-4705/KIAPS/2015

Słowa kluczowe: maltodekstryna, izotermy sorpcji, równoważnik glukozowy, równowaga zawartość wilgoci.

Celem pracy przedstawionej w artykule było określenie właściwości sorpcyjnych maltodekstryny przemysłowej o różnych wartościach równoważnika glukozowego (DE). Izotermy sorpcji w 25°C wyznaczono w zakresie aktywności wody od 0,11 do 0,90 za pomocą metody statyczno - eksykatorowej. Dane opisano za pomocą trzech modeli matematycznych: BET, GAB i Pelega. Oceny dopasowania dokonano w oparciu o wartości: współczynnika determinacji (R^2) oraz średniego błędu kwadratowego (RMS). W celu wyekspozowania różnic pomiędzy poszczególnymi próbkami przeprowadzono Analizę Głównych Składowych (PCA).

Key words: maltodextrin, sorption isotherms, dextrose equivalent, equilibrium moisture content.

The aim of the work presented in this article was to determine moisture sorption characteristics of commercial maltodextrins with different dextrose equivalent (DE). Moisture sorption isotherms at 25°C were studied for water activities ranging from 0,11 to 0,90 using static -desiccator method. The moisture sorption data were used to fit three mathematical models: BET, GAB and Peleg's. The goodness of fit was measured by calculation of coefficient of determination (R^2) and root mean square (RMS). In order to show the differences between analyzed samples of maltodextrins Principal Component Analysis (PCA) was performed.

WPROWADZENIE

Woda jako podstawowy składnik żywności w dużej mierze determinuje jej właściwości fizykochemiczne oraz wpływa na przebieg procesów biologicznych i enzymatycznych. Na etapie planowania trwałości przechowalniczej ważna jest zarówno ilość wody w produkcie, jak i jej stan, wynikający z jej oddziaływań z innymi składnikami produktu. W surowcach pochodzenia biologicznego wyróżnia się wodę związaną oraz wodę wolną [23]. Właściwości sorpcyjne żywności uwarunkowane są głównie przez jej skład chemiczny oraz strukturę, a ich znajomość jest szczególnie istotna w przypadku materiałów sypkich, o dużej zawartości sacharydów w amorficznej postaci, które wykazują szczególną tendencję do destabilizacji [28]. Ze względu na to, że produkty spożywcze stanowią zazwyczaj złożone i niejednorodne układy, analiza właściwości sorpcyjnych opiera się zazwyczaj na badaniach eksperymentalnych. Metodą umożliwiającą przedstawienie powyższych właściwości jako zależności pomiędzy równowagową zawartością wilgoci i aktywnością wody są izotermy sorpcji. Znajomość przebiegu krzywych adsorpcji pary wodnej produktu jest pomocna między innymi przy wyznaczaniu kinetyki i projektowaniu procesu suszenia, określaniu charakteru zmian w produkcie, przewidywaniu

trwałości przechowalniczej oraz ustalaniu optymalnej wilgotności i aktywności wody [27]. W oparciu o teorię adsorpcji (Van der Waalsa) gazów na substancjach stałych Brunauer i in. [4] przedstawili pięć podstawowych rodzajów izoterm. Większość krzywych opisujących właściwości sorpcyjne produktów spożywczych wykazuje sigmoidalny przebieg, właściwy dla izoterm typu II. Charakterystyczne punkty przegięcia uwarunkowane są występowaniem trzech zakresów adsorpcji o zróżnicowanej kinetyce. Izotermy sorpcji żywności o dużym udziale cukrów prostych mogą przebiegać również zgodnie z typem III, którego bardziej regularny kształt związany jest z rozpuszczaniem się sacharydów.

Pod względem chemicznym maltodekstryny są polisacharydami, składającymi się z jednostek D-glukozy połączonych ze sobą głównie wiązaniami α -1,4-glikozydowymi lub rzadziej α -1,6-glikozydowymi. Ze względu na źródło i sposób pozyskiwania zaliczane są do hydrolizatów skrobiowych, a do ich komercyjnej produkcji stosuje się obecnie hydrolizę enzymatyczną za pomocą amylaz. Nowoczesne metody produkcji maltodekstryn polegają na jedno lub dwustopniowej konwersji skrobi, odpowiednio limitowanej poprzez kontrolę pH lub temperatury. Hydroliza może być prowadzona również metodą kwasową jednak biokataliza jest obecnie korzystniejsza ekonomicznie, ze względu na mniejsze zużycie

surowca i energii [22]. Maltodekstrynami nazywane są produkty z surowców o różnym pochodzeniu botanicznym, przy czym najpowszechniej spotykane są hydrolizaty ze skrobi kukurydzianej. Podstawowym wyróżnikiem charakteryzującym maltodekstryny jest równoważnik glukozy DE (dextrose equivalent), określający procentowy udział cukrów redukujących wyrażonych jako glukoza w przeliczeniu na suchą masę produktu. Wartość DE warunkuje cechy fizykochemiczne, jednak nie uwzględnia profilu węglowodanowego, który może być zróżnicowany w obrębie maltodekstryn o tym samym stopniu scukrzenia [14]. Ogólnie jednak przyjmuje się, że wraz ze wzrostem stopnia hydrolizy rośnie higroskopijność, słodkość, odporność na krystalizację, przyswajalność, rozpuszczalność i podatność na brunatnienie, przy jednoczesnym obniżeniu lepkości i temperatury zamarzania [26]. Maltodekstryny przemysłowe dostępne są w postaci białego proszku o niskiej zawartości wody (do 6%) co ułatwia zarówno dozowanie, jak i przechowywanie produktu w opakowaniach zbiorczych. Ze względu na zdolność do wchodzenia w interakcje z innymi związkami chemicznymi, głównym sektorem gospodarczym wykorzystującym maltodekstryny jest przemysł spożywczy. Ich dobra przyswajalność warunkuje szerokie stosowanie w żywności przeznaczonej dla dzieci i niemowląt, gdzie pełnią one rolę zamiennika skrobi. Zdolność do tworzenia miękkich i smarownych żeli umożliwia użycie maltodekstryn jako częściowych zamienników tłuszczu w jogurtach, majonezach i produktach cukierniczych [9]. W celu stabilizacji i poprawy struktury, dodatek maltodekstryny zalecany jest w produkcji ciastek [15], pieczywa [35] oraz wyrobów mięsnych [7]. Mogą być również użyte jako nośniki barwników [11] i aromatów [6]. Wiele ostatnich badań koncentruje się na wykorzystaniu maltodekstryny jako dodatku obniżającego higroskopijność i podwyższającego wartość temperatury przemiany szklistej w procesie suszenia. Zbadano wpływ hydrolizatów na suszenie między innymi: ananasa [10], borojo [20], truskawek [21], jagód peruwiańskich [33], soków: z grejpfrutów [29] i acai [32], morwy [12], oraz pochodnych białkowych - sosu sojowego [34].

Celem artykułu jest prezentacja wyników badań dotyczących zależności pomiędzy właściwościami sorpcyjnymi a stopniem scukrzenia maltodekstryny komercyjnej. Dane eksperymentalne przedstawiono w postaci izoterm sorpcji zgodnie z trzema modelami, których dopasowanie oceniono na podstawie otrzymanych parametrów.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Analizie poddano maltodekstryny komercyjne otrzymane od firmy Regis (Polska) o trzech deklarowanych przez producenta stopniach scukrzenia DE 13, 16 i 19. Przed przystąpieniem do właściwych analiz próbki zliofilizowano w urządzeniu typu Alpha 1-2LD plus Christ (Wielka Brytania) i przechowywano w eksykatorze nad warstwą P_2O_5 w celu dosuszenia.

Wymaganą ilość maltodekstryny (ok. 1g) przechowywano na szklanych szalkach umieszczonych w szczelnych naczyniach nad przesyconymi roztworami soli o różnej aktywności wody. Do sporządzenia roztworów soli wykorzystano: LiCl, CH_3COOK , $MgCl_2$, K_2CO_3 , $Mg(NO_3)_2$, NaBr, $NaNO_2$, NaCl, $(NH_4)_2SO_4$, KCl i BaCl wyprodukowane przez firmę Sigma – Aldrich (USA). Próbkę przechowywano w temperaturze 25°C

aż do ustalenia się stanu równowagi stwierdzonego na podstawie ich stałej masy podczas kolejnych pomiarów kontrolnych. Badania wykonano w trzech powtórzeniach. Równowagową zawartość wody badanych maltodekstryn obliczono wg wzoru [22]:

$$u = \left[\frac{m_k}{m_0 \cdot \frac{m_k}{m_{c0}}} - 1 \right] \quad (1)$$

gdzie: u – równowagowa zawartość wody (g/g s.s.),
 m_k – końcowa masa próbki przechowywanej w środowisku o określonej aktywności wody (g),
 m_0 – początkowa masa próbki przechowywanej w środowisku o określonej aktywności wody (g),
 m_{ck} – końcowa masa próbki przechowywanej nad P_2O_5 (g),
 m_{c0} – początkowa masa próbki przechowywanej nad P_2O_5 (g).

Dane eksperymentalne opisano za pomocą trzech modeli izoterm adsorpcji:

- BET

$$u = \frac{u_m C a_w}{(1 - a_w)[1 + (C - 1)a_w]} \quad (2)$$

- GAB

$$u = \frac{u_m C k a_w}{1 - k a_w [1 - (C + 1)k a_w]} \quad (3)$$

- Pelega

$$u = A a_w^B + D a_w^E \quad (4)$$

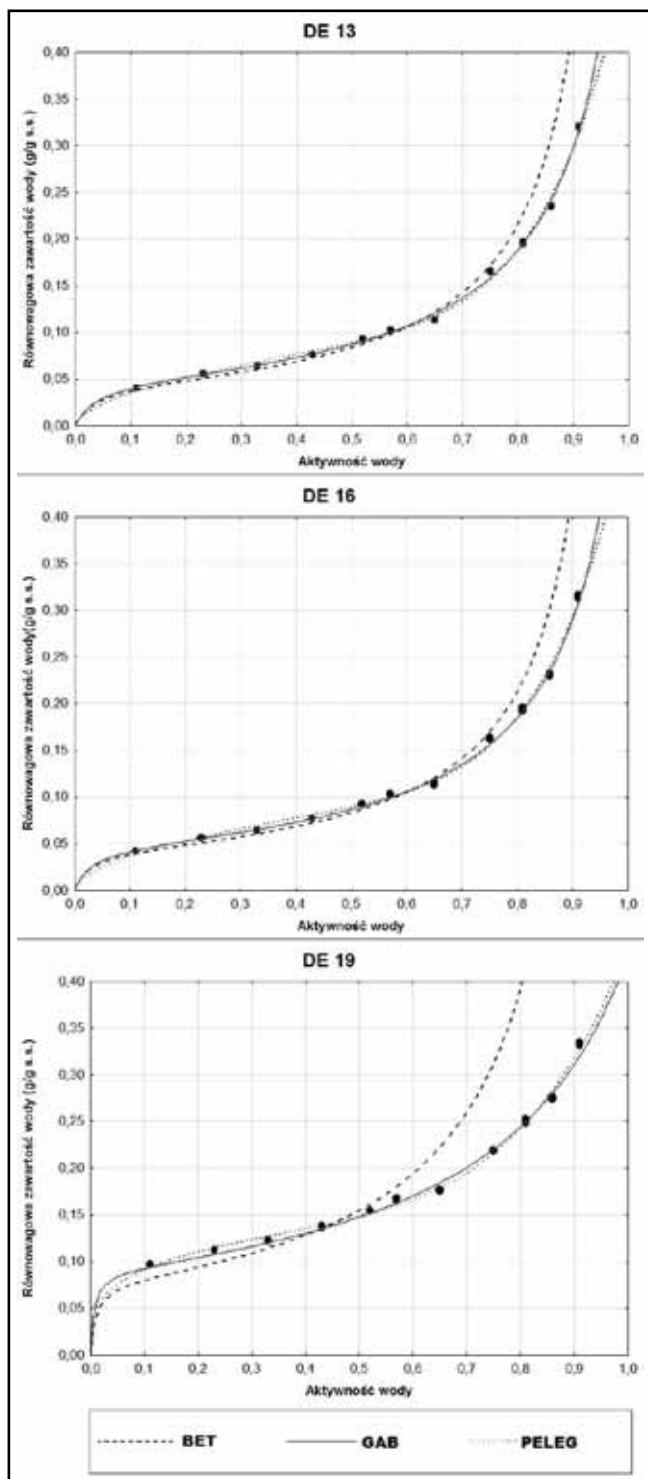
gdzie: A, B, C, D, E, k – parametry modeli,
 a_w – aktywność wody,
 u – wyznaczona eksperymentalnie wilgotność równowagowa (g/g s.s.)
 u_m – zawartość wody w monowarstwie (g/g s.s.)

Parametry modeli wyznaczono przy użyciu programu Statistica 8.0 (StatSoft Inc., USA). Dopasowanie zastosowanych modeli do danych eksperymentalnych oceniono na podstawie średniego błędu kwadratowego (RMS) obliczonego według poniższego wzoru [23]:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{u_D - u_P}{u_D} \right)^2}{N}} * 100\% \quad (5)$$

gdzie: u_D – doświadczalna równowagowa zawartość wilgotności (g/g s.s.),
 u_P – przewidywana równowagowa zawartość wilgotności (g/g s.s.),
 N – liczba punktów pomiarowych.

W celu ustalenia korelacji pomiędzy parametrami poszczególnych modeli i wartością równoważnika glukozy DE wykonano analizę głównych składowych.



Rys. 1. Przebieg izoterm adsorpcji pary wodnej przez maltodekstryny o wartościach DE 13, 16 i 19.

Fig. 1. Moisture sorption isotherms of maltodextrins with dextrose equivalent DE 13, 16 and 19.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

WYNIKI I DYSKUSJA

Równowagowa zawartość wody w maltodekstrynach o różnym stopniu scukrzenia w temperaturze 25°C przedstawiona została w Tabeli 1. Wraz z rosnącym stopniem depolimeryzacji proszki charakteryzowały się zwiększoną higroskopijnością.

Tabela 1. Równowagowa zawartość wilgoci (g/g s.s.) maltodekstryn o równoważniku glukozowym DE 13, 16 i 19

Table 1. Equilibrium moisture content (g H₂O/g dry solid) of maltodextrin with dextrose equivalents of 13, 16 and 19: adsorption data

Aktywność wody	Równowagowa zawartość wilgoci		
	Maltodekstryna DE 13	Maltodekstryna DE 16	Maltodekstryna DE 19
0,11	0,0408 ± 0,0001	0,0422 ± 0,0002	0,0966 ± 0,0004
0,23	0,0559 ± 0,0010	0,0565 ± 0,0005	0,1127 ± 0,0002
0,33	0,0639 ± 0,0005	0,0608 ± 0,0060	0,1226 ± 0,0008
0,43	0,0777 ± 0,0003	0,0770 ± 0,0002	0,1374 ± 0,0009
0,52	0,0925 ± 0,0009	0,0923 ± 0,0007	0,1545 ± 0,0004
0,57	0,1025 ± 0,0003	0,1030 ± 0,0010	0,1653 ± 0,0031
0,64	0,1185 ± 0,0091	0,1147 ± 0,0016	0,1767 ± 0,0012
0,75	0,1652 ± 0,0010	0,1631 ± 0,0012	0,2195 ± 0,0010
0,81	0,1961 ± 0,0019	0,1940 ± 0,0019	0,2502 ± 0,0022
0,86	0,2351 ± 0,0009	0,2303 ± 0,0019	0,2749 ± 0,0019
0,90	0,3188 ± 0,0029	0,3165 ± 0,0034	0,3354 ± 0,0038

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Tabela 2. Oszacowane parametry izoterm sorpcji

Table 2. Estimated parameters of the sorption equations

Model	Parametry	Stopień scukrzenia		
		DE 13	DE 16	DE 19
BET	u_m [g H ₂ O/g s.s.]	0,044	0,043	0,078
	C	30,10	37,86	104,73
	R ²	0,983	0,997	0,781
	RMS [%]	2,48	0,89	1,61
GAB	u_m [g H ₂ O/g s.s.]	0,048	0,048	0,099
	C	28,343	34,061	105,57
	k	0,931	0,928	0,697
	R ²	0,998	0,997	0,995
	RMS [%]	1,92	2,71	1,39
Peleg	A	0,379	0,369	0,264
	B	7,204	7,217	5,261
	D	0,127	0,126	0,171
	E	0,562	0,542	0,271
	R ²	0,995	0,995	0,996
	RMS [%]	2,24	2,06	2,55

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Zależności pomiędzy równowagową zawartością wilgoci a aktywnością wody przedstawione zostały w postaci izoterm sorpcji na Wykresie 1. Wszystkie uzyskane krzywe charakteryzowały się sigmoidalnym przebiegiem odpowiadającym izotermom II typu według klasyfikacji Brunauera. Kształt izoterm związany jest z występowaniem trzech zakresów adsorpcji: monomolekularnej dla $a_w < 0,3$, wielowarstwowej dla $0,3 < a_w < 0,65$ i kondensacji kapilarnej dla $a_w > 0,65$. Sigmoidalny przebieg krzywych charakterystyczny jest dla materiałów amorficznych, o wysokim udziale grup hydrofilowych do których zaliczyć można skrobię różnego pochodzenia botanicznego oraz ich pochodne [2, 5, 25].

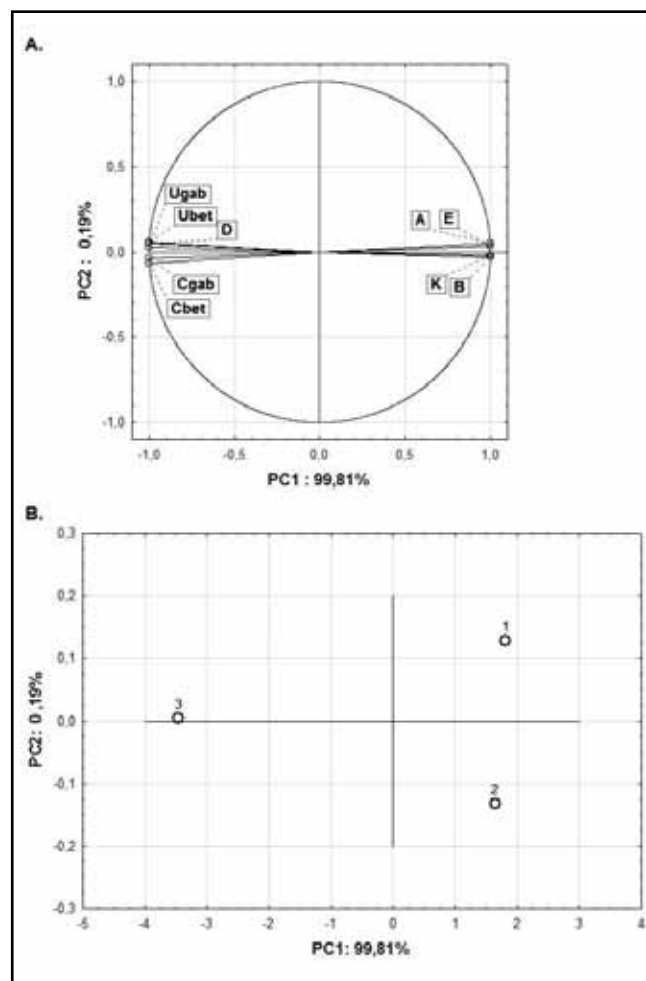
Dane eksperymentalne opisano trzema modelami: BET, GAB i Pelega. Oceny dopasowania danych do modeli dokonano na podstawie wartości współczynnika determinacji R^2 i średniego błędu kwadratowego RMS. Otrzymane wyniki umieszczono w Tabeli 2.

Za najbardziej uniwersalny model pozwalający na przedstawienie właściwości sorpcyjnych produktów spożywczych uważany jest trójparametrowy model GAB [30]. Zawartość wilgoci w monowarstwie u_m definiowana jest jako woda silnie związana powierzchniowo w specyficznych, aktywnych obszarach. Parametr ten stanowi jeden z głównych czynników determinujących stabilność produktów spożywczych, a jego wartość uwzględnia się przy ustalaniu optymalnych warunków przechowywania. Zgodnie z badaniami Karel [13] zawartość wody w monowarstwie w przypadku żywności waha się w granicach 0,04-0,11g wody na 1g suchej masy. Wartości u_m analizowanych próbek zawierały się w przedziałach 0,043-0,048 dla maltodekstryn o deklarowanym stopniu scukrzenia DE 13 i 16 oraz 0,078-0,990 dla DE 19. Wyznaczone wartości u_m hydrolizatów najmniej i średnio scukrzonych zbliżone są do wyników $u_m = 0,046-0,051$, otrzymanych dla proszków o podobnym stopniu scukrzenia przez Abramovic i Klofutar [1]. Uzyskane stałe C (28,34-105,57) i k (0,697-0,931) dla modelu GAB odbiegają od analogicznych wartości ($C=10,48-28,144$ i $k=1,03-1,08$), otrzymanych przez Mosquera i in. [20] i Jose Fabra i in. [12] dla hydrolizatów o podobnym DE. Wyznaczone parametry spełniają jednak założenia Lewickiego [16] według którego uzyskanie wartości tych parametrów w przedziałach $0,24 < k < 1$ i $5,67 < C < \infty$ zapewnia prawidłowy przebieg izoterm sigmoidalnych przy jednoczesnym zachowaniu błędów obliczeń wody w monowarstwie $\pm 15\%$.

Według deklaracji producenta stopień scukrzenia badanych hydrolizatów wzrastał równo co trzy jednostki DE. Można jednak zauważyć, że równowagowa zawartość wilgoci u maltodekstryny o DE=19 jest nieproporcjonalnie wyższa niż w przypadku pozostałych dwóch próbek. Wynika to z faktu, iż zdolność do wiązania wody przez biopolimery nie jest uwarunkowana jedynie ilością grup hydroksylowych ale też może być zależna od średniej masy cząsteczkowej wchodzących w ich skład oligosacharydów [3, 31]. Właściwości sorpcyjne maltodekstryn mogą być również uwarunkowane pochodzeniem botanicznym skrobi z której zostały otrzymane. Mishra i Rai [19] dowiedli, iż skrobię ziemniaczaną mają większą tendencję do chłonięcia wody z otoczenia niż te otrzymane z kukurydzy i manioku. Istotnym parametrem wpływającym na cechy fizykochemiczne hydrolizatów może być również stosunek amylozy do amylopektyny w materiale wyjściowym [8].

Modelem pozwalającym na najlepszą prezentację właściwości sorpcyjnych badanych maltodekstryn okazał się model Pelega [24], dla którego uzyskano zadowalające wartości R^2 w pełnym badanym zakresie aktywności wody. W przypadku dwóch pozostałych modeli, uzyskanie zbliżonego współczynnika determinacji, wymagało ograniczenia danych do wartości aktywności wody 0,4 w przypadku modelu BET i 0,75 dla modelu GAB. Średni błąd kwadratowy RMS dla wszystkich zastosowanych modeli wyniósł poniżej 3% co potwierdza, że prawidłowo opisują one dane sorpcyjne.

Uzyskane wartości stałych wykorzystanych modeli nie ukazywały jednoznacznie różnic pomiędzy poszczególnymi próbkami maltodekstryn dlatego poddano je analizie głównych składowych (Rys. 2A).



Rys. 2. Analiza składowych głównych:

A. Dystrybucja parametrów modeli na płaszczyźnie czynników 1 i 2.

B. Rozkład przypadków na płaszczyźnie czynników 1 i 2.

Fig. 2. Principal Component Analysis:

A. Distribution of parameters.

B. Distribution of cases.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Analiza składowych głównych jest metodą pozwalającą na redukcję ilości zmiennych z wykorzystaniem korelacji pomiędzy wielkościami opisującymi dane zjawisko. Mniejsza liczba wymiarów pozwala na lepsze zobrazowanie różnic pomiędzy porównywanymi próbkami materiałów. Z dziewięciu wyjściowych parametrów otrzymano dwie stałe składowe PC1 i PC2 z których pierwsza wyjaśniała aż 99,81% zmienności. Parametry u_m i C uzyskane z modeli GAB i BET oraz D z modelu Pelega wykazywały silną ujemną korelację ze zmienną PC1, natomiast pozostałe analizowane stałe były z tą zmienną skorelowane dodatnio. Usytuowanie próbek na diagramie (Rys. 2B) oraz bardzo zbliżone wartości zmiennej PC1 (wyjaśniającej większość zmienności) potwierdzają podobieństwo właściwości sorpcyjnych maltodekstryny o najniższym i średnim stopniu scukrzenia oraz znaczne różnice pomiędzy hydrolizatem najwyżej scukrzonym i pozostałymi dwoma. Jak wynika z rysunku 2A istnieje silna korelacja pomiędzy poszczególnymi parametrami.

WNIOSKI

Właściwości sorpcyjne maltodekstryny przemysłowej związane są z jej stopniem scukrzenia. Wraz ze wzrostem udziału grup hydroksylowych, hydrolizaty wykazują wzmożoną tendencję do pochłaniania wody. Niezależnie od stopnia depolimeryzacji izotermy badanych maltodekstryn wykazywały sigmoidalny przebieg, charakterystyczny dla materiałów amorficznych. Modelem pozwalającym na najlepsze przedstawienie właściwości sorpcyjnych analizowanych hydrolizatów w pełnym zakresie aktywności wody okazał się czteroparametrowy model Pelega. Analiza składowych głównych potwierdziła występowanie największych różnic w przypadku maltodekstryny o najwyższym badanym stopniu scukrzenia.

LITERATURA

- [1] **ABRAMOVIC H., KLOFUTAR C. 2002.** „Water adsorption isotherms of some maltodextrin samples”. *Acta Chimica Slovenica* 49: 835-844.
- [2] **AL-MUHTASEB A.H., MCMINN W.A.M., MAGEE T.R.A. 2004.** „Water sorption isotherm of starch powders. Part 1: Mathematical description of experimental data”. *Journal of Food Engineering* 61: 297-307.
- [3] **AVALTRONI F., BOUQUERAND P.E., NORMAND V. 2004.** „Maltodextrin molecular weight distribution influence on the glass transition temperature and viscosity in aqueous solution”. *Carbohydrate Polymers* 58 (3): 323-334.
- [4] **BRUNAUER S., DEMING L.S., DEMING W.E., TROLLER E. 1940.** „On the theory of Van der Waals adsorption gases”. *Journal of the American Chemistry Society* 62: 1723-1732.
- [5] **CHATAKONODA C., DICKINSON L., CHINACHOTI P. 2003.** „Mobility and distribution of water in cassava and potato starches by H and H NMR”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 7445-7449.
- [6] **CHEMAN Y.B., IRWANDI I., ABDULLAH W.J.W. 1999.** „Effect of different types of maltodextrin and drying methods on physico-chemical and sensory properties of encapsulated durian flavour”. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79: 1075-1080.
- [7] **CHRONAKIS I.S. 1998.** „On the molecular characteristics, compositional properties and structural-functional mechanism of maltodextrin: a review”. *Critical Reviews in Food Science* 38: 599-637.
- [8] **DOKIC L., JAKOVLJEVIC J., DOKIC P. 2004.** „Relation between viscous characteristics and dextrose equivalent of maltodextrins”. *Starch/Stärke* 56: 520-525.
- [9] **DOMAGAŁA J., SADY M., GREGA T., BONCZAR G. 2006.** „Rheological properties and texture of yoghurts when oat-maltodextrin is used as a fat substitute”. *International Journal of Food Properties* 9: 1-11.
- [10] **GABAS A.L., TELIS V.R.N., SOBRAL P.J.A., TELIS-ROMERO J. 2007.** „Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder”. *Journal of Food Engineering* 82: 246-252.
- [11] **GANDIA-HERRERO F., JIMANEZ-ATIENZAR M., CABANES J., GARCIA-CARMONA F., ES-RIBANO J. 2010.** „Stabilization of the bioactive pigment of opuntia fruits through maltodextrin encapsulation”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 10646-10652.
- [12] **JOSE FABRA M., MARQUEZ E., CASTRO D., CHIRALT A. 2011.** „Effect of maltodextrin in the water-content-water activity-glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia L.*) pulp powder”. *Journal of Food Engineering* 103: 47-51.
- [13] **KAREL M. 1975.** Water activity and food preservation. In: Karel M., Fennema O. R., Lund D.B., *Physical principles of food preservation. Principles and food science part 2: 237-263.* New York: Marcel Dekker, Inc.
- [14] **KUNTZ L.A. 1997.** „Making the most of maltodextrins”. *Food Product Design* 7 (5): 89-104.
- [15] **LAKSHAMINARAYAN S.M., RATHINAM V., KRISHNARAU L. 2006.** „Effect of maltodextrin and emulsifiers on the viscosity of cake butter and on the quality of cakes”. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86:706-712.
- [16] **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.
- [17] **LEWICKI P.P. 1997.** „Water sorption isotherms and their estimation in food model mechanical mixtures”. *Journal of Food Engineering* 32: 47-68.
- [18] **LEWICKI P.P. 1998.** „A three parameter equation for food moisture sorption isotherms”. *Journal of Food Processing Engineering* 21: 127-144.
- [19] **MISHRA S., RAI T. 2006.** „Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches”. *Food Hydrocolloids* 20: 557-566.

- [20] **MOSQUERA L.H., MORAGA G., MARTINEZ-NAVARRETE N. 2010.** „Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borojo (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) powder”. *Journal of Food Engineering* 97: 72-78.
- [21] **MOSQUERA L.H., MORAGA G., MARTINEZ-NAVARRETE N. 2012.** „Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and arabic gum”. *Food Research International* 47: 201-206.
- [22] **NOWAKOWSKA K., SKALSKI J. 2000.** „Niekorzystne zjawiska w przetwórstwie ziemniaków”. *Przemysł Spożywczy* 10 (54): 15.
- [23] **PAŁACHA Z. 2008.** „Aktywność wody ważny parametr trwałości żywności”. *Przemysł Spożywczy* 4: 22-26.
- [24] **PELEG M. 1993.** „Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherm”. *Journal of Food Process Engineering* 16 (1): 21-37.
- [25] **PERDOMO J., COVA A., SANDOVAL A.J., GARCIA L., LAREDO E., MULLER A.J. 2009.** „Glass transition temperatures and water sorption isotherms of cassava starch”. *Carbohydrate Polymers* 76: 305-313.
- [26] **ROLLER S. 1996.** Starch-derived fat mimetics: maltodextrin, In: *Handbook of Fat Replacement*, CRC Boca Raton, New York.
- [27] **ROOS Y. 1993.** „Water activity and physical state effects on amorphous food stability”. *Journal of Food Processing and Preservation* 16: 433-447.
- [28] **RUIZ-CABRERA M.A., SCHMIDT S.J. 2015.** „Determination of glass transition temperatures during cooling and heating of low-moisture amorphous sugar mixtures”. *Journal of Food Engineering* 146: 36-43.
- [29] **TELIS V.N.R., MARTINEZ-NAVARRETE N. 2009.** „Collapse and color changes in grapefruit juice powder as affected by water activity, glass transition and addition of carbohydrate polymers”. *Food Biophysics* 4: 83-93.
- [30] **TIMMERMANN E.O., CHIRIFE J., IGLESIAS H.A. 2001.** „Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters”. *Journal of Food Engineering* 48: 19-31.
- [31] **TONG H.H.Y., WONG S.Y.S., LAW M.W.L., CHU K.K.W., CHOW A.H.L. 2008.** „Anti-hygroscopic effects of dextrans in herbal formulation”. *International Journal of Pharmaceutics* 363: 99-105.
- [32] **TONON R.V., BARONI A.F., BRABET C., GIBBERT O., PALLET D., HUBINGER M.D. 2009.** „Water sorption and glass transition temperature of spray dried acai juice”. *Journal of Food Engineering* 94: 215-221.
- [33] **VEGA-GALVEZ A., LOPEZ J., AH-HEN K., JOSE TORRES M., LEMUS-MONDACA R. 2014.** „Thermodynamic properties, sorption isotherms and glass transition temperature of cape gooseberry”. *Food Technology and Biotechnology* 52 (1): 83-92.
- [34] **WANG W., ZHOU W. 2013.** „Water adsorption and glass transition of spray-dried soy sauce powders using maltodextrins as carrier”. *Food and Bioprocess Technology* 6: 2791-2799.
- [35] **WITCZAK M., KORUS J., ZIOBRO R., JUSZCZAK L. 2010.** „The effects of maltodextrin on gluten-free dough and quality of bread”. *Journal of Food Engineering* 96: 258-265.