

Mgr inż. Krzysztof MIASTKOWSKI¹
Zamiejscowy Wydział Leśny w Hajnówce
Mgr inż. Jan Robert BAKONIUK
Mgr inż. Milena CZAPLICKA
Dr inż. Sławomir OBIDZIŃSKI
Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka

CHARAKTERYSTYKA WIĄZANIA WODY PRZEZ BŁONNIK KAKAOWY®

Characteristics of binding water by cocoa fiber®

1) Autor jest uczestnikiem projektu „Stypendium dla doktorantów województwa podlaskiego”, współfinansowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Działanie 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałanie 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji, ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego, budżetu państwa oraz środków budżetu Województwa Podlaskiego.

Słowa kluczowe: izotermy sorpcji, błonnik, aktywność wody.

W artykule przedstawiono wyniki badań zależności pomiędzy składem granulometrycznym błonnika kakaowego a jego właściwościami sorpcyjnymi. Charakterystykę granulometryczną określono w oparciu o analizy stereologiczne i komputerową analizę obrazu. Przebieg izoterm sorpcji wyznaczono metodą statyczno-eksykatorową w zakresie $0,07 \leq a_w \leq 0,903$. Izotermy sorpcji opisano za pomocą równania BET, określono zawartość wody w monowarstwie oraz powierzchnię właściwą adsorpcji. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, iż właściwości sorpcyjne błonnika kakaowego uzależnione są zarówno od wielkości cząstek proszku, jak i od jego składu granulometrycznego. Przy wyznaczaniu warunków przechowywania błonnika w proszku należy zatem brać pod uwagę również jego granulację.

Key words: sorption isotherms, fiber, water activity.

The paramount aim of the present work is to analyze and present the relationship between the particle size composition of cocoa fiber and its sorption properties. The granulometric characteristic has been identified on the basis of the stereological and computer image analyses. The sorption isotherms have been determined with the use of the static desiccators method of $0.07 \leq a_w \leq 0.903$. The sorption isotherms have been described using the BET equation, water content in the monolayer, and the specific surface of adsorption have been determined. Based on the conducted research it has been stated that sorption properties of the cocoa fiber depend on both the size of the powder particle and its granulometric composition. Therefore, the granulometric composition of the fiber powder also needs to be taken into account in determining the storage conditions.

WSTĘP

Zainteresowanie stosowaniem błonnika w przemyśle spożywczym sprawiło, iż nieustannie poszukuje się nowych źródeł jego pozyskiwania. Aktualnie można spotkać się z błonnikiem z tak egzotycznych produktów jak: marakuja, daktyl, figi czy łuska kakaowa.

Błonnik kakaowy w chwili obecnej stanowi dodatek do wielu produktów spożywczych ze względu na to, iż posiada smak i zapach zbliżony do proszku kakaowego. Zawiera również teobrominę – główny alkaloid występujący w kakao, odpowiedzialny za jego własności biologiczne. Dodatek błonnika do produktu wzbogaca smak oraz zapobiega szybkiemu wysychaniu poprzez wiązanie wody i tłuszczów [17]. Błonnik kakaowy znajduje zastosowanie jako dodatek do wyrobów piekarniczych, cukierniczych, przetworów mleczarskich, produktów w formie „instant”, musli, dodaje się go także do suplementów diety. Używany jest również w produkcji jako zamiennik substancji zagęszczających oraz jako barwnik [7].

Błonnik kakaowy otrzymuje się z prażonej łuski kakaowej poprzez zaawansowane oczyszczenie, mikronizację, czyli rozdrabnianie mechaniczne do rozmiarów kilku-kil-

kuset mikrometrów i sterylizację. Proces produkcji ma charakter wyłącznie fizyczny, więc otrzymany produkt nie zawiera żadnych dodatkowych substancji chemicznych. Błonnik kakaowy ma postać jednolitego, sypkiego proszku o rozdrobnieniu od 2 μm do 600-800 μm [3]. W literaturze zwraca się uwagę na fakt, że proszki o średniej wielkości cząstek powyżej 200 μm posiadają dobre właściwości użytkowe, tzn. niską kohezynność, dobrą sypkość i płynność oraz niską podatność na pylenie. Proszki o wielkościach cząstek poniżej 200 μm posiadają znaczną kohezynność i higroskopijność, przez to sprawiają problemy przy przetwarzaniu [5, 14, 16]. Błonnik kakaowy należy do proszków o średniej wielkości cząstek poniżej 200 μm i charakteryzuje się przez to pylistością i kohezją oraz jest trudnozwilżalny. Jako proszek o dużej higroskopijności, ma tendencję do widocznego lekkiego zbrylania. Drobnoziaństwo, pylistość i higroskopijność proszku błonnika kakaowego sprawiają znaczne problemy podczas dozowania, transportu, przetwarzania czy przechowywania [3].

Wrażliwość błonnika na wilgoć i jego zdolność chłonięcia wody można określić na podstawie kształtu izoterm sorpcji. Przyjęto, że siła wiązania cząsteczek wody jest zależna od rozmieszczenia i rodzaju grup hydrofilowych na

powierzchni adsorbentu przy niskiej aktywności wody (ok. 0,3). Wraz ze wzrostem aktywności wody ($a_w > 0,65$) adsorpcja ma charakter warstwowy. Maleje wówczas stopniowo energia wiązania wody i zachodzi kondensacja kapilarna, tj. wypełnianie porów w produkcie oraz procesy rozpuszczania [8, 15]. Analizy wpływu stopnia mikronizacji (średniej wielkości cząstek) błonnika pszennego na przebieg izoterm sorpcji pary wodnej pozwoliły stwierdzić, iż błonnik o największej średniej wielkości cząstek charakteryzował się najwyższą pojemnością sorpcyjną oraz powierzchnią właściwą sorpcji [11]. Pozostałe błonniki, pomimo istotnych różnic w mikronizacji, cechowały się zbliżonymi właściwościami sorpcyjnymi. Analiza właściwości użytkowych drobnocząsteczkowych proszków polidispersyjnych, do których należy błonnik pozwoliła stwierdzić, iż właściwości te nie są uzależnione jedynie od stopnia mikronizacji, ale również od składu granulometrycznego, określającego zróżnicowanie udziału poszczególnych frakcji wielkości cząstek [1, 2, 6].

Celem artykułu jest prezentacja wyników badań dotyczących zależności pomiędzy składem granulometrycznym błonnika kakaowego a jego właściwościami sorpcyjnymi.

METODYKA BADAŃ

Materiałem badawczym wykorzystanym w niniejszej pracy był błonnik spożywczy kakaowy. Został on pobrany bezpośrednio z magazynu gotowego produktu u producenta. Próbkę błonnika dobrano w ten sposób, iż pochodziły z trzech różnych partii produkcji. Według producenta, posiadały one jednolity stopień mikronizacji, określony poprzez klasyfikację na sicie o oczkach $25 \mu\text{m}$, przy czym ze względu na parametry procesu rozdrabniania różniły się składem granulometrycznym.

W celu wstępnej oceny różnic pomiędzy składem granulometrycznym badanych próbek dokonano pomiaru gęstości nasypowej luźnej. Określono również zawartość wody w badanych materiałach metodą suszarkową wg normy PN-84/A-88027 oraz aktywność wody za pomocą aparatu Aqualab seria 3 model TE (tab. 1).

Charakterystykę granulometryczną błonnika wyznaczono przy wykorzystaniu mikroskopu Biolar PI, kamery 5.0MP CMOS oraz oprogramowania do komputerowej analizy obrazu analySIS. Za pomocą kamery cyfrowej i mikroskopu rejestrowano obrazy próbki proszku błonnika rozproowanej w cieczy immersyjnej. Dla każdej próbki błonnika wykonywano 10 fotografii. Następnie zarejestrowane obrazy były poddane analizom stereologicznym przy wykorzystaniu oprogramowania analySIS [1,9]. Do charakterystyki składu granulometrycznego wybrano parametr geometryczny cząstek, określane jako maksymalna średnica D_{max} - maksymalny odcinek wpisany w rzut cząstki na płaszczyznę. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów przedstawiono skład granulometryczny proszku błonnika w postaci histogramu udziału ilościowego cząstek we frakcjach o szerokości przedziału $25 \mu\text{m}$ za pomocą programu Statistica 10 [10]. Do każdego z histogramów dopasowano funkcję gęstości rozkładu z wykorzystaniem testu Chi-kwadrat dobroci dopasowania przy przyjętym poziomie istotności $p=0,05$ w postaci wykładniczej:

$$N(D_{max}) = \lambda \cdot N_k \cdot A_p \cdot \exp(-\lambda \cdot D_{max}) \quad (1)$$

gdzie: λ – parametr charakterystyczny rozkładu wykładniczego (μm^{-1});

D_{max} – parametr geometryczny cząstki (maksymalna średnica) – maksymalny odcinek wpisany w rzut cząstki na płaszczyznę (μm);

A_p – szerokość przedziału frakcji w histogramie składu granulometrycznego (μm);

N_k – liczba cząstek w analizowanej próbce (szt).

Parametr charakterystyczny rozkładu wykładniczego λ pozwala wnioskować o udziale ilościowym cząstek proszku w danym przedziale frakcyjnym wielkości cząstek. Im wyższa wartość parametru, tym bardziej zróżnicowany jest skład granulometryczny proszku, występują większe różnice pomiędzy udziałami ilościowymi poszczególnych frakcji [1, 2]. Istotność różnic pomiędzy składami granulometrycznymi analizowanych próbek błonnika wyznaczono za pomocą testu Kruskala-Wallisa przy przyjętym poziomie istotności $p=0,05$ w programie Statistica 10 [10].

Izotermy adsorpcji pary wodnej zostały wyznaczone metodą statyczno-eksykatorową. Badany materiał dosuszano w suszarce komorowej przez 24 h w temperaturze 70°C , a następnie próbki o masie 2 g umieszczano w ekzykatorach zawierających nasycone roztwory soli, co zapewniało aktywność wody środowiska w zakresie $0,07 \leq a_w \leq 0,903$. Próbkę przechowywano przez okres 3 miesięcy w temperaturze $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Ważenia próbek dokonywano po 1, 2 i 3 miesiącach. Na podstawie zmian masy określono zawartość wody, po przechowywaniu zaś aktywność wody wyznaczono za pomocą aparatu Aqualab. Każdy pomiar powtarzano 5-cio krotnie. Na podstawie początkowej masy materiału oraz zmian zawartości wody obliczono równowagowe zawartości wody i wykreślono izotermy adsorpcji pary wodnej. Uzyskane izotermy opisano empirycznym równaniem BET [13] w zakresie aktywności wody $0,07 \leq a_w \leq 0,34$:

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

gdzie: V_m – pojemność monowarstwy – maksymalna wielkość adsorpcji odpowiadająca całkowitemu pokryciu powierzchni jednocząsteczkową warstwą adsorbentu, ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$);

C – stała, związana w sposób wykładniczy z różnicą pomiędzy ciepłem adsorpcji na pierwszej i na następnych warstwach, przyjęta za niezmienną i równą ciepłu kondensacji;

a_w – aktywność wody;

a – adsorpcja ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Przydatność modelu do opisu uzyskiwanych izoterm oceniono na podstawie pierwiastka z błędów średniokwadratowego (RMS), współczynnika determinacji R^2 [12]:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (u_e - u_0)^2}{N_p}} \cdot 100\% \quad (3)$$

gdzie: u_e – równowagowa zawartość wody wyznaczona eksperymentalnie ($\text{gH}_2\text{O} \cdot 100\text{g}^{-1}$);

u_0 – równowagowa zawartość wody wyznaczona eksperymentalnie ($\text{gH}_2\text{O} \cdot 100\text{g}^{-1}$);
 N_p – liczba pomiarów (szt);

Znając maksymalną wielkość adsorpcji V_m oraz powierzchnię siadania cząsteczki wody ω można było określić wielkość właściwej powierzchni adsorpcji z równania [11]:

$$a_{sp} = \frac{\omega V_m N}{M} \quad (4)$$

gdzie: N – liczba Avogadra ($6,023 \cdot 10^{23}$ cząsteczek $\cdot \text{mol}^{-1}$);
 ω – powierzchnia siadania cząsteczki wody ($1,05 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2 \cdot \text{cząsteczkę}^{-1}$);
 M – masa cząsteczkowa wody ($18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$);
 V_m – maksymalna wielkość adsorpcji, odpowiadająca całkowitemu pokryciu powierzchni jednocząsteczkową warstwą adsorbentu (pojemność monowarstwy) ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

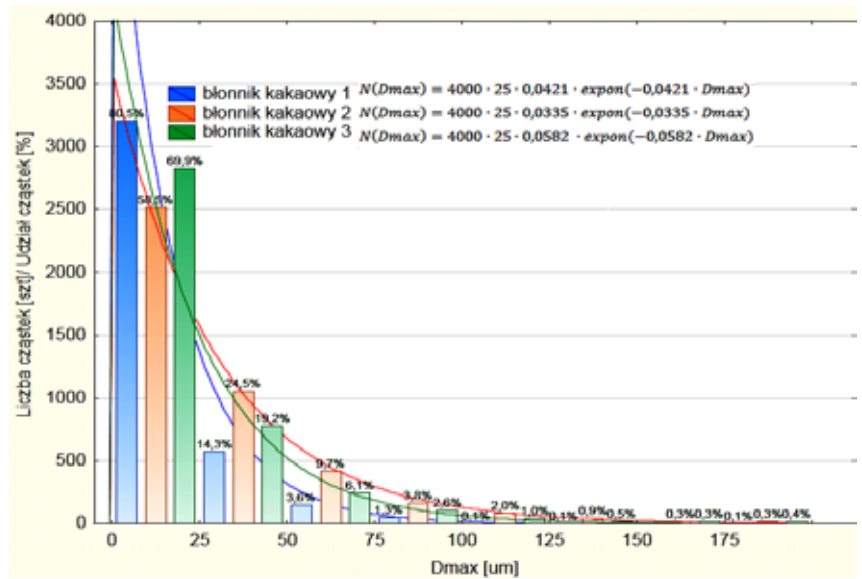
WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

W tabeli 1 przedstawiono średnią zawartość wody, aktywność wody oraz gęstość nasypową badanych próbek błonnika. Stwierdzono, iż najwyższą zawartością wody $w=10,23\%$ charakteryzował się błonnik kakaowy nr 2, miał on również najwyższą wartość aktywności wody $a_w=0,623$ przy najwyższej wartości gęstości nasypowej luźnej $\rho=273 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Najniższą zawartością wody $w=8,1\%$ charakteryzował się błonnik kakaowy nr 1, wykazywał on najniższą aktywność wody $a_w=0,324$ oraz posiadał najniższą z gęstości nasypowych $\rho=249 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Różnica pomiędzy zawartością wody błonnika kakaowego nr 1 i 2 wynosiła $\Delta w=2,13\%$, zaś różnica w aktywności wody pomiędzy tymi błonnikami $\Delta a_w=0,299$. Porównując błonniki nr 1 i 3, dla których różnica w zawartości wody wynosiła 2,1%, stwierdzono różnicę w ich aktywności wody wynoszącą tylko $\Delta a_w=0,235$. Biorąc pod uwagę fakt, iż różnica pomiędzy zawartościami wody błonników 1 i 3 wynosi tylko 0,03% oraz uwzględniając deklarację producenta, że badane błonniki posiadają identyczny stopień mikronizacji, to różnica w ich aktywności wody na poziomie $\Delta a_w=0,064$ pozwala wyciągnąć wniosek, iż stopień mikronizacji nie jest jedynym parametrem decydującym o właściwościach sorpcyjnych błonnika kakaowego. Ponieważ przy identycznym stopniu mikronizacji proszki błonnika posiadają różną gęstość nasypową, nasuwa się wniosek, iż proszki te różnią się pod względem składu granulometrycznego, a co za tym idzie, skład ten może wpływać na właściwości sorpcyjne.

Tabela 1. Charakterystyka materiału badawczego
 Table 1. Characteristics of research material

Nazwa	Zawartość wody w (%)	SD	Aktywność wody a_w	SD	Gęstość nasypowa ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	SD
błonnik kakaowy 1	8,100	0,006	0,324	0,004	249	0,006
błonnik kakaowy 2	10,230	0,008	0,623	0,005	273	0,009
błonnik kakaowy 3	10,200	0,007	0,559	0,004	264	0,007

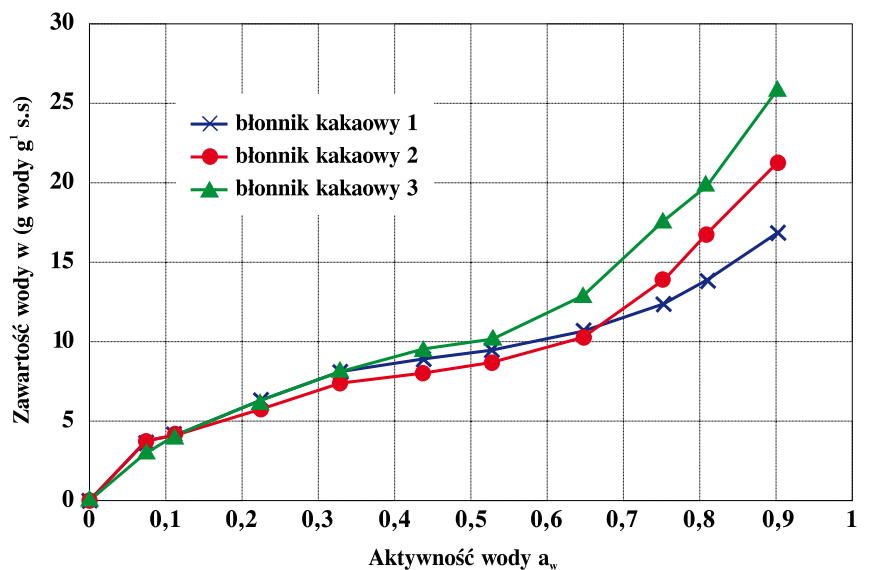
SD – odchylenie standardowe
 Źródło: Badania własne



Rys. 1. Histogram składu granulometrycznego badanych próbek błonnika.

Fig. 1. Histogram of granulometric composition of fiber samples.

Źródło: Badania własne



Rys. 2. Izotermy adsorpcji pary wodnej proszku błonnika o różnej granulacji.

Fig. 2. Adsorption isotherms of water vapor for fiber powder with different granularity.

Źródło: Badania własne

Skład granulometryczny badanych błonników przedstawiono w postaci histogramu rozkładu wielkości cząstek względem średnicy maksymalnej cząstki (rys. 1). Przeprowadzono analizy statystyczne za pomocą testu Kruskala-Wallisa przy przyjętym poziomie istotności $p=0,05$. Miały one na celu potwierdzenie hipotezy zerowej mówiącej o braku statystycznie istotnych różnic pomiędzy analizowanymi próbkami pod względem mediany wielkości cząstek oraz składu granulometrycznego. Przeprowadzone testy pozwoliły stwierdzić, iż pomimo jednakowego stopnia mikronizacji występują statystycznie istotne różnice pomiędzy analizowanymi próbkami błonnika pod względem mediany wielkości cząstek. Testy istotności różnic ze względu na skład granulometryczny wykazały również, że występują statystyczne różnice pomiędzy analizowanymi próbkami błonnika. Błonnik nr 1 (rys. 1) charakteryzował się największym udziałem – 80,5% frakcji cząstek najmniejszych o wymiarze do 25 μm , najmniejszym udziałem frakcji o tym wymiarze charakteryzował się błonnik nr 2 – 58,5%. Frakcje o wielkości cząstek do 50 μm stanowiły ponad 94% udziału w składzie granulometrycznym błonnika nr 1, ponad 89% w przypadku błonnika nr 3 i 83% w błonniku nr 2. Największy udział cząstek powyżej 100 μm zaobserwowano dla błonnika nr 2 i stanowił on ok. 3,5% ogólnej liczny cząstek, w przypadku obu pozostałych błonników udział ten nie przekraczał 2%.

Na podstawie analizy histogramu (rys. 1) można stwierdzić, iż udział poszczególnych frakcji był najmniej zróżnicowany dla błonnika nr 2. Wartość parametru charakterystycznego funkcji gęstości rozkładu była dla tego błonnika najniższa w porównaniu z pozostałymi dwoma i wynosiła $\lambda=0,0335$ (tab. 2). Błonnik ten charakteryzował się również największą medianą wielkości cząstek. Im niższa była mediana, tym wartość parametru λ rosła a błonnik charakteryzował się bardziej zróżnicowanym składem granulometrycznym. Rozrzut wielkości cząstek analizowanych błonników wynosił od 2,3 do ponad 390 μm . Największe cząstki obserwowano w przypadku błonnika kakaowego nr 3 – $d_{\text{max}}=390,83$ μm , najmniejsze zaś dla błonika nr 1 – $d_{\text{min}}=178,20$ μm .

Na rys. 2 przedstawiono przebieg izoterm sorpcji badanych błonników o różnej granulacji. Wszystkie izotermy posiadały kształt sigmoidalny odpowiadający II typowi izoterm w klasyfikacji Brunauera [4].

Przyjmując wartość średniego błędu kwadratowego na poziomie niższym od 10% jako dobrą zgodność dopasowania modelu do danych eksperymentalnych w zakresie $0,07 \leq a_w \leq 0,34$, należy stwierdzić, że dla wszystkich analizowanych próbek błonnika model BET dobrze opisuje dane doświadczalne (tabela 2). Na podstawie modelu BET wyznaczono zawartość wody w monowarstwie oraz wartość stałej C charakteryzującej ilość ciepła uwalnianego podczas adsorpcji pary wodnej przez produkt (tabela 2). Parametry te są przydatne do przewidywania optymalnych warunków przechowywania żywności.

Tabela 2. Parametry modelu BET, parametry geometryczne cząstek oraz powierzchnia właściwa adsorbentu dla błonnika kakaowego w proszku

Table 2. BET model parameters, geometric parameters of the particles and surface area of the adsorbent for the fiber cocoa powder

Nazwa	Model BET (parametry)				λ	Średnice cząstek			$a_{\text{sp}}^{\text{a.s.}}$ ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)
	V_m	C	R^2	RMS (%)		d_{50} (μm)	d_{min} (μm)	d_{max} (μm)	
błonnik kakaowy 1	6,329	12,150	0,995	2,4	0,0421	15,30	2,47	178,20	222,4
błonnik kakaowy 2	5,435	18,400	0,996	3,2	0,0335	20,21	2,28	309,85	190,9
błonnik kakaowy 3	6,756	9,25	0,999	2,8	0,0582	12,33	2,28	390,83	237,4

λ – parametr charakterystyczny rozkładu wykładniczego (μm^{-1});

a_{sp} – powierzchnia właściwa sorpcji ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$);

C – stała ;

d_{50} – mediana wielkości cząstki (μm);

d_{max} – maksymalna średnica cząstki w próbce (μm);

d_{min} – minimalna średnica cząstki w próbce (μm);

R^2 – współczynnik determinacji;

V_m – maksymalna wielkość adsorpcji;

Źródło: Badania własne

W obszarze aktywności wody $0,07 \leq a_w \leq 0,14$ najwyższą pojemnością sorpcyjną charakteryzował się błonnik kakaowy nr 2, najniższą zaś błonnik nr 3. W zakresie $0,04 \leq a_w \leq 0,903$ nastąpiło odwrócenie tendencji i wyższą pojemnością sorpcyjną wykazał błonnik nr 3. Błonnik nr 1 i 2 wykazały zbliżoną pojemność sorpcyjną w zakresie $0,07 \leq a_w \leq 0,7$, przy czym nieznacznie wyższą posiadał błonnik kakaowy 1. W zakresie $0,7 \leq a_w \leq 0,903$ nastąpiło odwrócenie tendencji i wystąpiły istotne różnice wartości pojemności sorpcyjnej błonnika nr 1 i 2.

W przeprowadzonych badaniach najwyższą pojemnością monowarstwy charakteryzował się błonnik nr 3 – $V_m=6,756$, przy czym wykazał on najmniejszą wartość stałej C=9,25. Świadczy to o najmniejszej ilości ciepła uwalnianego z produktu w procesie adsorpcji (tabela 2). Posiadał on również największą powierzchnię właściwą adsorpcji $a_{\text{sp}}=237,4$ $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, charakteryzował się też najbardziej zróżnicowanym składem granulometrycznym $\lambda=0,0582$ oraz najmniejszą medianą wielkości cząstek $d_{50}=12,33$ μm . Błonnik kakaowy 2 o najwyższej medianie wielkości cząstek $d_{50}=20,21$ μm i najmniej zróżnicowanym składzie granulometrycznym charakteryzował się najwyższą wartością stałej C=18,4 przy najniższej pojemności monowarstwy $V_m=5,435$ oraz najmniejszej wielkości powierzchni właściwej adsorpcji $a_{\text{sp}}=190,9$ $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Na podstawie uzyskanych izoterm sorpcji pary wodnej błonnika możliwe jest określenie optymalnych warunków przechowywania produktu. Uzyskane różnice we właściwościach sorpcyjnych błonników określanych przez producenta jako produkty o jednakowym stopniu mikronizacji pozwalają wysnuć wniosek iż podczas wyznaczania optymalnych warunków przechowywania należy uwzględnić zarówno stopień mikronizacji jak i charakterystykę granulometryczną produktu. Przechowując partie błonnika o jednakowym stopniu mikronizacji w warunkach wyznaczonych dla tego stopnia

mikronizacji, ale bez brania pod uwagę składu granulometrycznego, można doprowadzić do sytuacji, że część produktu, która będzie miała bardziej zróżnicowany skład granulometryczny (charakteryzowała się wyższą higroskopijnością), będzie przechowywana w nieodpowiednich warunkach. Wpłyne to na pogorszenie właściwości użytkowych proszku błonnika i może prowadzić do problemów przy jego przetwarzaniu.

WNIOSKI

1. Izotermy pary wodnej proszków błonnika kakaowego charakteryzowały się przebiegiem II typu według klasyfikacji Brunauera.
2. Podawany przez producenta stopień mikronizacji nie odzwierciedla w pełni charakterystyki granulometrycznej błonnika.
3. Najwyższą pojemnością monowarstwy i powierzchnią właściwą adsorbentu (największą higroskopijnością) charakteryzował się błonnik o najniższej medianie wielkości cząstek $d_{50} = 12,33 \mu\text{m}$ i najbardziej zróżnicowanym składzie frakcyjnym $\lambda = 0,0582$.
4. Najmniej higroskopijny błonnik charakteryzował się największą medianą wielkości cząstek $d_{50} = 20,21 \mu\text{m}$ i najmniej zróżnicowanym składem granulometrycznym $\lambda = 0,0335$.
5. Właściwości sorpcyjne błonnika zależą zarówno od jego stopnia mikronizacji, jak też od składu granulometrycznego proszku.
6. Określając optymalne warunki przechowywania drobno-cząsteczkowych proszków polidispersyjnych na podstawie analiz izoterm sorpcji pary wodnej, należy wziąć pod uwagę zarówno stopnie mikronizacji, jak i charakterystykę granulometryczną.

LITERATURA

- [1] **BAKIER S., MIASTKOWSKI K. 2010.** *Analiza składu granulometrycznego glukozy krystalicznej.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 20/36(1), 36-40.
- [2] **BAKIER S., MIASTKOWSKI K. 2011.** *Badania zależności pomiędzy wybranymi własnościami użytkowymi a składem granulometrycznym glukozy krystalicznej.* Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych z. 563; 11-20.
- [3] **BAKONIUK J., MIASTKOWSKI K., LESZCZUK T. 2013.** *Wpływ lepiscza na charakterystykę granulometryczną błonnika spożywczego granulowanego bezciśnieniowo.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 23/42(1), 12-18.
- [4] **BRUNAUERA S., DEMING L.S., DEMING W.E., TEELER E. 1940.** *On a theory of the van Waals adsorption of gases.* Journal of the American Chemical Society, 62, 1723-1732.
- [5] **DOMIAN E., JANOWICZ M., KOWALSKA H., LENART A. 2005.** *Sypkość białkowo-węglowodanowych mieszanin proszków spożywczych aglomerowanych w złożu fluidalnym.* Inżynieria Rolnicza, 11 (71), 59-67.
- [6] **DOMIAN E., LENART A. 2004.** *Wpływ aglomeracji w złożu fluidalnym na właściwości wybranych mieszanin proszków spożywczych o charakterze białkowo-węglowodanowym.* Inżynieria Rolnicza, 5 (60). 69-76.
- [7] **KOLANOWSKI W. 1998.** *Zastosowanie błonnika pokarmowego w produkcji żywności.* Żywność. Żywnienie. Zdrowie, 4, 412.
- [8] **KOWALSKA H., DOMIAN E., JANOWICZ M., LENART A. 2005.** *Właściwości sorpcyjne wybranych mieszanin proszków spożywczych o składzie białkowo-węglowodanowym.* Inżynieria Rolnicza. Nr 11 (71). 259-265.
- [9] **LESZCZUK T., MIASTKOWSKI K. 2012.** *Metody określania parametrów geometrycznych sypkich nawozów rolniczych i ogrodniczych.* Postępy Nauki i Techniki, 12, 139-148.
- [10] **LUSZNIEWICZ A., SŁABY T. 2008.** *Statystyka z pakietem komputerowym STATISTICA PL: teoria i zastosowania.* Warszawa, Wydawnictwo C. H. Beck, ISBN: 978-83-255-0113-6.
- [11] **MAKAŁA H., OCIECZEK A. 2008.** *Characteristics of sorption properties of selected wheat cellulose preparations.* Acta Agrophysica, 12(3), 747-754.
- [12] **NOWACKA M., JANIĄK G., KIDOŃ M., CZAPSKI J., WITROWA-RAJCHERT D. 2012.** *Zastosowanie modeli matematycznych do opisu izoterm adsorpcji pary wodnej suszonej marchwi purpurowej i pomarańczowej.* Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 5 (84) 60-72.
- [13] **PADEREWSKI M. 1999.** *Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej.* Warszawa, WNT, ISBN 83-204-2388-0.
- [14] **PAŁACHA Z., CHRZANOWSKI P. 2013.** *Badanie procesów adsorpcji i desorpcji wody wybranych skrobi.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 23/42(1), 58-63.
- [15] **PAŁACHA Z., MALCZEWSKA A. 2010.** *Izotermy adsorpcji i desorpcji wybranych przypraw.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 20/36(1), 12-18.
- [16] **SZULC K., LENART A. 2009.** *Właściwości kohezyjne wybranych proszków spożywczych.* Inżynieria Rolnicza, 2(111), 169-175.
- [17] **WOJCIECHOWICZ A., GIL Z. 2009.** *Jakość pieczywa pszenneego z udziałem błonnika pokarmowego różnego pochodzenia.* Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 6 (67), 102-111.