

Dr hab. inż. Zbigniew PAŁACHA, prof. SGGW  
Mgr inż. Marek BOROWIEC  
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji  
Instytut Nauk o Żywności, SGGW w Warszawie

# WŁAŚCIWOŚCI SORPCYJNE WYBRANYCH PŁATKÓW ZBOŻOWYCH®

## Sorption properties of selected cereal flakes®

**Słowa kluczowe:** płatki zbożowe, izotermy adsorpcji i desorpcji wody, histereza sorpcyjna.

*W pracy prezentowanej w artykule wyznaczono izotermy adsorpcji i desorpcji wody dla wybranych płatków zbożowych (kukurydziane, owsiane, żytnie, gryczane i jęczmienne) w temperaturze 25°C, w zakresie aktywności wody od 0,113 do 0,932 (adsorpcja) i od 0,810 do 0,113 (desorpcja). Stwierdzono, że izotermy adsorpcji i desorpcji wody badanych płatków zbożowych miały kształt sigmoidalny i zgodnie z klasyfikacją Brunauera i współpracowników odpowiadały II typowi izoterm. Model GAB bardzo dobrze opisywał otrzymane izotermy adsorpcji i desorpcji wody. Obliczony średni błąd kwadratowy (RMS) nie przekroczył 5%. Wszystkie izotermy wykazały pętlę histerezy, przy czym największą pętlę histerezy charakteryzowały się płatki gryczane, a najmniejszą płatki żytnie. Największą powierzchnię właściwą posiadały płatki jęczmienne, a najmniejszą płatki kukurydziane.*

**Key words:** cereal flakes, adsorption and desorption isotherms, sorption hysteresis.

*In the paper water adsorption and desorption isotherms were determined for selected cereal flakes (cornflakes, oat flakes, rye flakes, buckwheat flakes and barley flakes) at 25°C over a range of water activity from 0,113 to 0,932 (adsorption) and from 0,810 to 0,113 (desorption). The water adsorption and desorption isotherms of the tested cereal flakes had a course compatible with II type isotherms according to the Brunauer classification. The GAB model described the obtained adsorption and desorption water isotherms very well. The calculated root mean square error (RMS) did not exceed 5%. All isotherms show hysteresis loop, while the highest hysteresis loop characterized buckwheat flakes and the smallest – oat flakes. The largest specific surface area was noted for the barley flakes while cornflakes had the smallest value of that parameter.*

## WSTĘP

Zwiększający się poziom świadomości konsumentów sprawia, że coraz częściej chcą oni konsumować produkty o wysokiej wartości odżywczej, smaczne i łatwe w spożyciu. Do tego typu żywności można zaliczyć płatki zbożowe. Płatki zbożowe są bogatym źródłem węglowodanów, białek, lipidów, błonnika,  $\beta$  – glikanów, witamin, składników mineralnych, a spożywanie tych składników pomaga w prowadzeniu zdrowego trybu życia [1, 24]. Dietetycy polecają płatki z całego ziarna, które wykazują najwyższą wartość odżywczą, a ich regularne spożycie może zapobiegać nowotworom, otyłości, cukrzycy, czy nawet chorobom serca [1, 7].

Obecnie produkuje się naturalne płatki ziaren: pszenicy, żyta, jęczmienia, orkisz, kukurydzy, prosa (jaglana), gryki i ryżu. Oprócz tradycyjnych zwykłych płatków produkowane są również błyskawiczne, górskie i ekologiczne. W procesie produkcji ziarno pozbawiane jest łusek, a następnie poddaje się je płatkowaniu w gniotownikach walcowych [1].

Płatki zbożowe, aby były atrakcyjne dla konsumenta, powinny zachować właściwą teksturę oraz długi okres przydatności do spożycia. Chrupkość, kruchość i twardość są głównymi parametrami jakości płatków zbożowych, które w dużym stopniu zależą od stanu wody w materiale [14].

Właściwości sorpcyjne płatków zbożowych odgrywają ważną rolę w procesie ich przetwarzania i przechowywania. Wyznaczone izotermy adsorpcji i desorpcji wody pozwalają określić te właściwości [16]. Z przebiegu izoterm adsorpcji i desorpcji można określić zawartość wody w monowarstwie, uznawanej za optymalną do zachowania stabilności materiału. Ponadto, izotermy adsorpcji i desorpcji wody mogą być wykorzystane do modelowania procesu suszenia, projektowania i optymalizacji suszarek, prognozowania okresu przechowywania oraz wyboru odpowiedniego opakowania [6, 16].

W przebiegu izoterm adsorpcji i desorpcji wody, w większości produktów spożywczych, występuje pętla histerezy [2, 17, 18, 19, 20, 21]. Jej wielkość i kształt, punkt początkowy i końcowy, mogą znacznie się różnić w zależności od rodzaju produktu, temperatury, szybkości i stopnia odwodnienia [5]. W dostępnej literaturze, praktycznie brak jest informacji na temat izoterm desorpcji wody i występowania zjawiska histerezy w płatkach zbożowych. Poniższe rozważania będą stanowiły uzupełnienie wiedzy na ten temat.

**Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań dotyczących określenia właściwości sorpcyjnych wybranych rodzajów płatków zbożowych na podstawie wyznaczonych izoterm adsorpcji i desorpcji wody w temperaturze 25°C oraz ich analizy.**

## METODYKA BADAŃ

### 1. Materiał badawczy

Do badań użyto 5 rodzajów płatków zbożowych:

- ♦ płatki kukurydziane, Nestle,
- ♦ płatki owsiane (zwykłe), „Halina” SAWEX FOOD’S Sp. z o.o.,
- ♦ płatki żytnie, Bio Planet, Sp. z o.o.,
- ♦ płatki gryczane (błyskawiczne), „Szczytno” MELVIT S.A.,
- ♦ płatki jęczmienne (błyskawiczne), „Szczytno” MELVIT S.A.

### 2. Metody analityczne

#### 2.1. Oznaczenie początkowej zawartości wody

Początkową zawartość wody w płatkach zbożowych oznaczano metodą suszenia w suszarce SUP 65 WG. Próbkę materiału suszono w temperaturze  $130 \pm 1^\circ\text{C}$ , pod ciśnieniem 100 kPa, przez 3 godziny.

#### 2.2. Oznaczenie początkowej aktywności wody

Początkową aktywność wody w płatkach zbożowych zmierzono przy użyciu aparatu AquaLab w temperaturze  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . Pomiar przeprowadzono w 3 równoległych powtórzeniach.

#### 2.3. Wyznaczenie izoterm adsorpcji i desorpcji wody

Izoterm adsorpcji i desorpcji wody wyznaczono metodą statyczno-eksykatorową [23], stosując nasycone roztwory soli jako czynniki higrostatyczne ( $\text{LiCl}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOK}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaNO}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  i  $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ ) [8, 10, 22]. W ekzykatorach z roztworami o większej aktywności wody ( $\text{NaCl}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  i  $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ ) umieszczono naczynka z tymolem, w celu ochrony przed rozwojem mikroflory w materiale. Przed procesem adsorpcji próbki płatków wysuszono w suszarce próżniowej w temperaturze  $70^\circ\text{C}$ , przy ciśnieniu 1 kPa, w czasie 24 godzin. Przed procesem desorpcji, próbki płatków nawilżano przez 14 dni w temperaturze  $25^\circ\text{C}$  w ekzykatorze z wodą destylowaną ( $a_w = 1$ ) do osiągnięcia  $a_w$  materiału bliskiej 0,9. Tak przygotowane próbki płatków przeniesiono do ekzykatorów z roztworami soli o  $a_w$  od 0,113 do 0,932 (izoterm adsorpcji) i o  $a_w$  od 0,810 do 0,113 (izoterm desorpcji). Czas przetrzymywania próbek wyniósł 3 miesiące. Badania wykonano w temperaturze  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  w 3 powtórzeniach.

### 3. Metody obliczeniowe

#### 3.1. Obliczenie równowagowej zawartości wody

Równowagową zawartość wody w płatkach po procesie adsorpcji obliczono ze wzoru [12]:

$$u = \left[ \frac{d}{\frac{b}{c} - 1} \right] \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:  $u$  – równowagowa zawartość wody, g wody/100 g s.s.,  
 $a$  – początkowa masa próbki z ekzykatora z  $\text{CaCl}_2$ , g,

- $b$  – końcowa masa próbki, po trzymiesięcznym przetrzymywaniu w ekzykatorze z  $\text{CaCl}_2$  (po suszeniu w temperaturze  $70^\circ\text{C}$ , pod obniżonym ciśnieniem, przez 24 h), g,
- $c$  – początkowa masa próbki z ekzykatora z określonym roztworem, g,
- $d$  – końcowa masa próbki, po trzymiesięcznym przetrzymywaniu, z ekzykatora z określonym roztworem, g.

Równowagową zawartość wody w płatkach po procesie desorpcji obliczono ze wzoru:

$$u = \left[ \frac{d - d'}{d'} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

gdzie:  $d'$  – końcowa masa próbki, po trzymiesięcznym przetrzymywaniu, z ekzykatora z określonym roztworem (po suszeniu w temperaturze  $70^\circ\text{C}$ , pod obniżonym ciśnieniem, przez 24 h), g.

#### 3.2. Opis izoterm adsorpcji i desorpcji wody płatków zbożowych

Do opisu izoterm adsorpcji i desorpcji wody płatków zastosowano model GAB [3]:

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

gdzie:  $a_w$  – aktywność wody,  
 $u_m$  – zawartość wody w monowarstwie, g wody/100 g s.s.,  
 $C$  i  $k$  – stałe.

Aproksymację izoterm przeprowadzono na bazie wszystkich punktów pomiarowych (3 powtórzenia). Programu Table Curie 2D (Jandel Scientific) użyto do dopasowania testowanego modelu do danych doświadczalnych.

#### 3.3. Obliczenie powierzchni właściwej

Powierzchnię właściwą płatków zbożowych obliczono ze wzoru [9]:

$$S = \frac{u_m \cdot N_o \cdot \sigma_o}{M} \quad (4)$$

gdzie:  $S$  – powierzchnia właściwa adsorbentu,  $\text{m}^2/\text{g}$  s.s.,  
 $u_m$  – zawartość wody w monowarstwie GAB, g wody/ g s.s.,  
 $N_o$  – liczba Avogadra ( $6,023 \times 10^{23}$  cząsteczek/mol),  
 $\sigma_o$  – powierzchnia siadania cząsteczki wody ( $10,6 \times 10^{-20}$   $\text{m}^2/\text{cząsteczka}$ ),  
 $M$  – masa molowa wody (18 g/mol).

#### 3.4. Obliczenie średniego błędu kwadratowego (RMS)

Przydatność modelu GAB do opisu danych doświadczalnych adsorpcji i desorpcji wody oceniono na podstawie średniego błędu kwadratowego (RMS) wyrażonego w % [11]:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum \left( \frac{u_e - u_p}{u_e} \right)^2}{N}} \cdot 100 \quad (5)$$

gdzie:  $u_e$  – doświadczalna równowagowa zawartość wody, g wody/100 g s.s.,  
 $u_p$  – prognozowana równowagowa zawartość wody, g wody/100 g s.s.,  
 $N$  – liczba danych.

## OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

### 1. Charakterystyka badanych płatków zbożowych

Tabela 1. Początkowa zawartość wody i aktywność wody w badanych płatkach zbożowych

Table 1. Initial water content and water activity in studied cereal flakes

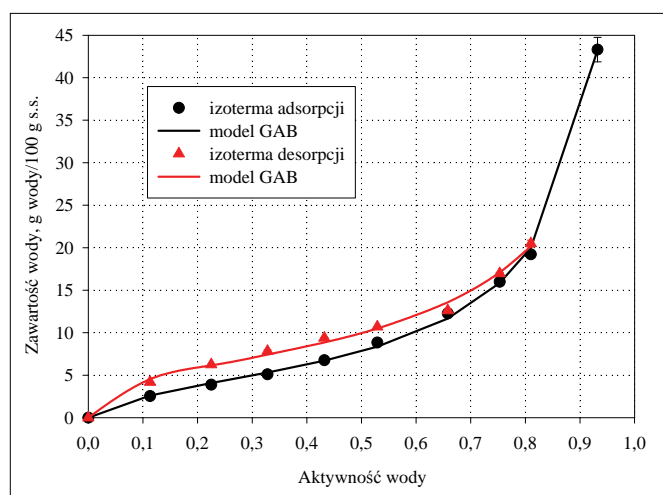
Rodzaj płatków zbożowych	Zawartość wody [%]	Aktywność wody [-]
Płatki kukurydziane	3,27 ± 0,05	0,266 ± 0,006
Płatki owsiane	10,01 ± 0,02	0,452 ± 0,001
Płatki żytnie	13,72 ± 0,03	0,673 ± 0,002
Płatki gryczane	12,41 ± 0,01	0,626 ± 0,001
Płatki jęczmienne	13,37 ± 0,01	0,628 ± 0,001

Źródło: Badania własne

Source: The own study

W tabeli 1 przedstawiono średnią początkową zawartość i aktywność wody w badanych płatkach zbożowych. Stwierdzono, że największą początkową zawartość i aktywność wody posiadały płatki żytnie (13,72%, 0,673), natomiast, najmniejszą początkową zawartość i aktywność wody posiadały płatki kukurydziane (3,27%, 0,266).

### 2. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody

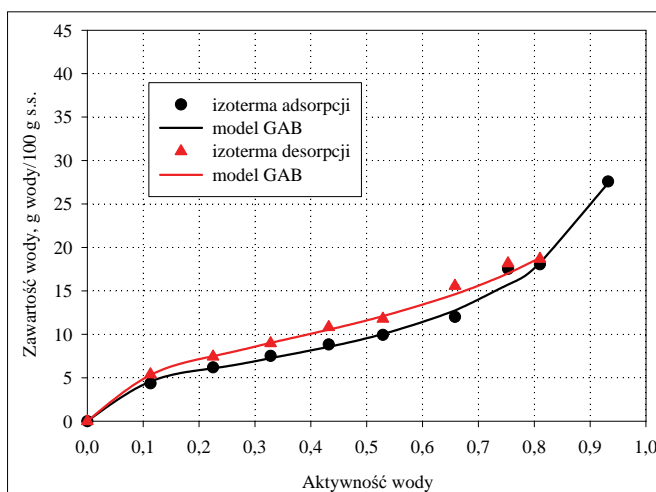


Rys. 1. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody płatków kukurydzianych.

Fig. 1. Water adsorption and desorption isotherms of cornflakes.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

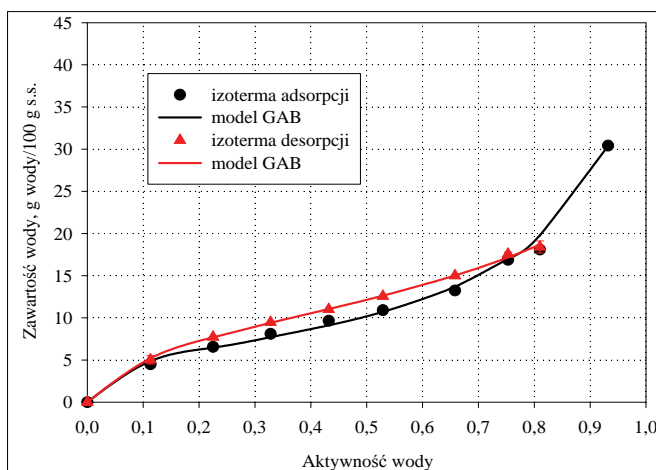


Rys. 2. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody płatków owsianych.

Fig. 2. Water adsorption and desorption isotherms of oat flakes.

Źródło: Badania własne

Source: The own study



Rys. 3. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody płatków żytnich.

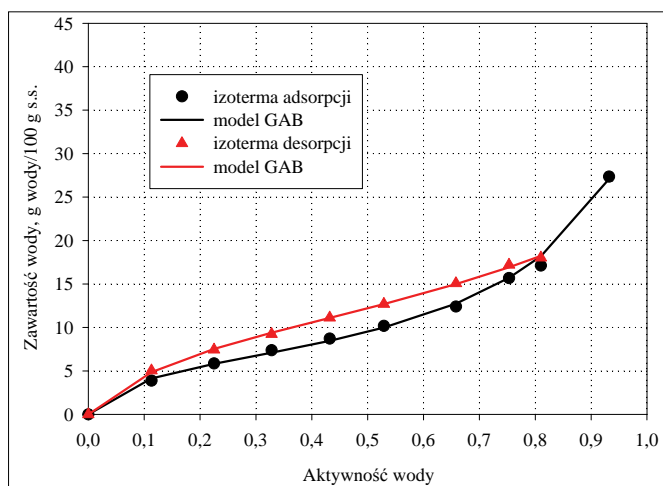
Fig. 3. Water adsorption and desorption isotherms of rye flakes.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Na rysunkach 1–5 przedstawiono przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody badanych płatków zbożowych. Uzyskane izotermy adsorpcji i desorpcji wody, bez względu na rodzaj płatków zbożowych, posiadały typowy kształt sigmoidalny, charakterystyczny dla izoterm typu II, zgodnie z klasyfikacją Brunauera i wsp. [4]. Izotermy typu II są charakterystyczne dla produktów skrobiowych i białkowych [16].

Przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody wykazał występowanie pętli histerezy we wszystkich badanych rodzajach płatków zbożowych, przy czym jej kształt i wielkość były nieznacznie różnicowane. Największą pętlę histerezy stwierdzono dla płatków gryczanych (rys. 4). Nieco mniejsze pętla histerezy, lecz o zbliżonej wielkości i kształcie, stwierdzono dla płatków kukurydzianych (rys. 1), owsianych (rys. 2) i jęczmiennych (rys. 5). Najmniejszą pętlę histerezy charakteryzowały się płatki żytnie (rys. 3).

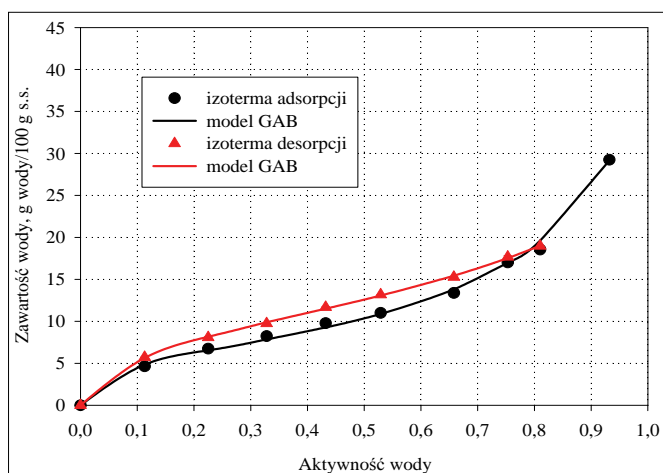


Rys. 4. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody płatków gryczanych.

Fig. 4. Water adsorption and desorption isotherms of buckwheat flakes.

Źródło: Badania własne

Source: The own study



Rys. 5. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody płatków jęczmiennych.

Fig. 5. Water adsorption and desorption isotherms of barley flakes.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Wielkość pętli histerezy wynikała z różnicy pomiędzy równowagową zawartością wody w procesach adsorpcji i desorpcji. Im była ona większa, tym pętla histerezy była bardziej wyraźna. Początek pętli histerezy stwierdzono przy aktywności wody ok. 0,1 dla płatków owsianych, żytnich, gryczanych i jęczmiennych, natomiast dla płatków kukurydzianych pętla histerezy miała początek przy aktywności wody 0,0. Z kolei, zamknięcie pętli histerezy, dla wszystkich rodzajów płatków zbożowych, stwierdzono przy aktywności wody ok. 0,8. Różnice w wielkości i kształcie pętli histerezy badanych płatków zbożowych, prawdopodobnie wynikały z budowy anatomicznej płatków, zróżnicowanego ich składu chemicznego i struktury wewnętrznej oraz przeprowadzonej obróbki technologicznej [2]. Zamknięte pętle histerezy przy aktywności wody ok. 0,8 otrzymali Pałacha i Chrzanowski [19] dla zmodyfikowanych skrobi: kukurydzianej, z kukurydzy woskowej i tapioki, oraz Pałacha i Sas [17] dla różnych gatunków ryżu.

### 3. Dopasowanie modeli izoterm do danych adsorpcji i desorpcji wody

Tabela 2. Obliczone parametry modelu GAB izoterm adsorpcji i desorpcji wody badanych płatków zbożowych

Table 2. Calculated parameters of GAB model of water adsorption and desorption isotherms of studied cereal flakes

Parametry modelu GAB	Płatki zbożowe				
	kukurydziane	owsiane	żytnie	gryczane	jęczmiennie
<b>Proces adsorpcji</b>					
um	4,581	5,832	6,146	5,984	6,410
C	8,409	23,053	23,511	15,932	20,585
k	0,961	0,847	0,858	0,840	0,840
R2	0,999	0,993	0,996	0,997	0,993
RMS, %	3,53	4,52	4,46	3,58	3,54
<b>Proces desorpcji</b>					
um	5,947	8,277	9,577	10,642	9,895
C	19,881	16,466	12,964	10,547	14,641
k	0,878	0,714	0,643	0,583	0,631
R2	0,995	0,992	0,997	0,999	0,999
RMS, %	4,65	3,28	3,38	1,57	1,10

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Do opisu izoterm adsorpcji i desorpcji wody badanych płatków zbożowych wykorzystano model GAB. W tabeli 2 zestawiono obliczone parametry odnoszące się do 5 rodzajów płatków zbożowych oraz pokazano jakość dopasowania modelem, wyrażoną przez współczynnik determinacji ( $R^2$ ) i średni błąd kwadratowy (RMS). Stwierdzono, że wielkość średniego błędu kwadratowego nie przekraczała wartości liczbowej 5%, zarówno w procesach adsorpcji i desorpcji wody, co świadczy o bardzo dobrej zgodności dopasowania modelu do danych sorpcyjnych w całym badanym zakresie aktywności wody. Wartości liczbowe błędu RMS dla modelu GAB kształtowały się na poziomie od 3,53% dla płatków kukurydzianych do 4,52% dla płatków owsianych (proces adsorpcji) i od 1,57% dla płatków gryczanych do 4,65% dla płatków kukurydzianych (proces desorpcji).

Model GAB pozwala wyznaczyć zawartość wody w monowarstwie i jest uznawany za najbardziej przydatny do przewidywania optymalnych warunków przechowywania oraz stabilności przechowalniczej żywności o małej i średniej zawartości wody [16]. Wielkości stałych (tab. 2), uzyskane w modelu GAB dla badanych płatków zbożowych, tj. zawartość wody w monowarstwie ( $u_m$ ) oraz C i k związane z energią oddziaływań między pierwszą i dalszymi adsorbowanymi cząsteczkami wody przez indywidualne centra adsorpcji matrycy, poprawnie opisują sigmoidalny kształt izoterm [13]. Generalnie, dla wszystkich badanych płatków zbożowych, większe wartości  $u_m$  uzyskano w procesie desorpcji wody (tab. 2). Podobną tendencję stwierdzili Al-Muhtaseb i wsp. [2] dla skrobi ziemniaczanej, Oyelade i wsp. [15] dla mąki kukurydzianej, Pałacha i Chrzanowski [19] dla modyfikowanych skrobi, Pałacha i Szcześniak [18] dla makaronów oraz Pałacha i Sas [17] dla różnych gatunków ryżu.



Największą zawartość wody w monowarstwie w procesie adsorpcji stwierdzono dla płatków jęczmiennych (6,410 g wody/100 g s.s.), a najmniejszą dla płatków kukurydzianych (4,581 g wody/100 g s.s.). Największą natomiast zawartość wody w monowarstwie w procesie desorpcji stwierdzono dla płatków gryczanych (10,642 g wody/100 g s.s.), a najmniejszą ponownie dla płatków kukurydzianych (5,947 g wody/100 g s.s.). Ogólnie, zawartość wody w monowarstwie w procesie desorpcji była prawie o 30% większa niż w procesie adsorpcji dla płatków kukurydzianych, prawie o 42% większa dla płatków owsianych, o ponad 53% większa dla płatków żytnich, prawie o 78% większa dla płatków gryczanych i o ponad 54% większa w płatkach jęczmiennych.

#### 4. Powierzchnia właściwa badanych płatków zbożowych

**Tabela 3. Powierzchnia właściwa adsorbentu (matrycy) badanych płatków zbożowych**

**Table 3. Specific surface area of adsorbent (matrix) tested cereal flakes**

Rodzaj płatków zbożowych	Powierzchnia właściwa (S), m <sup>2</sup> /g s.s.
	monowarstwa GAB
Płatki kukurydziane	162,5
Płatki owsiane	206,8
Płatki żytnie	217,9
Płatki gryczane	212,2
Płatki jęczmienne	227,4

**Źródło:** Badania własne

**Source:** The own study

W tabeli 3 podano wartości powierzchni właściwej badanych płatków zbożowych obliczone na podstawie pojemności monowarstwy GAB wyznaczonej w procesie adsorpcji. Największą powierzchnię właściwą, wynoszącą 227,4 m<sup>2</sup>/g s.s., posiadały płatki jęczmienne, a najmniejszą 162,5 m<sup>2</sup>/g

s.s. płatki kukurydziane. Pozostałe badane płatki zbożowe charakteryzowały się zbliżonymi wielkościami powierzchni właściwej matrycy od 206,8 m<sup>2</sup>/g s.s. (płatki owsiane) do 217,9 m<sup>2</sup>/g s.s. (płatki żytnie). Płatki jęczmienne posiadały największą, spośród badanych płatków zbożowych, zdolność do wiązania wody w procesie adsorpcji, były więc materiałem najbardziej higroskopijnym. Najmniej higroskopijne były płatki kukurydziane. Podobne wielkości powierzchni właściwej otrzymali Włodarczyk–Stasiak i Jamroz [25] dla ekstraktów skrobiowo–białkowych (od 209 do 298 m<sup>2</sup>/g s.s.), Pałacha i Szcześniak [18] dla różnych gatunków makaronów (od 179,3 do 229,3 m<sup>2</sup>/g s.s.) oraz Pałacha i Sas [17] dla różnych gatunków ryżu (od 158,0 do 254,7 m<sup>2</sup>/g s.s.).

#### WNIOSKI

1. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wszystkich badanych płatków zbożowych należały do II typu izoterm, zgodnie z klasyfikacją Brunauera i współpracowników.
2. Zjawisko histerezy było widoczne dla każdego rodzaju płatków zbożowych, przy czym największą pętlą histerezy charakteryzowały się płatki gryczane, a najmniejszą pętlą histerezy wykazały płatki żytnie.
3. Model GAB bardzo dobrze opisywał dane sorpcyjne badanych płatków zbożowych. Obliczony średni błąd kwadratowy nie przekroczył wartości 5%.
4. Zawartość wody w monowarstwie wyznaczona z modelu GAB była wyższa w procesie desorpcji niż w procesie adsorpcji dla wszystkich badanych płatków zbożowych. Płatki jęczmienne posiadały największą wartość  $u_m$  w procesie adsorpcji, a płatki gryczane w procesie desorpcji, natomiast najmniejszą wartość  $u_m$  płatki kukurydziane w obu procesach.
5. Największą powierzchnię właściwą posiadały płatki jęczmienne i w konsekwencji materiał ten pochłonął najwięcej wody w procesie adsorpcji, a najmniejszą powierzchnię właściwą stwierdzono dla płatków kukurydzianych.

#### LITERATURA

- [1] ACHREMOWICZ B., T. HABER, J. KASZUBA, C. PUCHALSKI, R. WIŚNIEWSKI. 2016. „Płatki zbożowe – ocena porównawcza. Cz. I. Porównanie składu chemicznego i mineralnego”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 26/49(2): 97–102.
- [2] AL–MUHTASEB A.H., W.A.M. MCMINN, T.R.A. MAGEE. 2004. „Water sorption isotherms of starch powders. Part I. Mathematical description of experimental data”. *Journal of Food Engineering* 61: 297–307.
- [3] BOQUET R., J. CHIRIFE, H.A. IGLESIAS. 1979. „Equations for fitting water sorption isotherms of foods. Part III. Evaluation of various three–parameter model”. *Journal of Food Technology* 14(5): 527–534.
- [4] BRUNAUER S., L.S. DEMING, W.E. DEMING, E. TELLER. 1940. „On the theory of the van der Waals adsorption of gases”. *Journal of the American Chemical Society* 62: 1723–1732.

#### LITERATURA

- [1] ACHREMOWICZ B., T. HABER, J. KASZUBA, C. PUCHALSKI, R. WISNIEWSKI. 2016. „Płatki zbożowe – ocena porównawcza. Cz. I. Porównanie składu chemicznego i mineralnego”. *Postępy Techniki Przetworstwa Spożywczego* 26/49(2): 97–102.
- [2] AL–MUHTASEB A.H., W.A.M. MCMINN, T.R.A. MAGEE. 2004. „Water sorption isotherms of starch powders. Part I. Mathematical description of experimental data”. *Journal of Food Engineering* 61: 297–307.
- [3] BOQUET R., J. CHIRIFE, H.A. IGLESIAS. 1979. „Equations for fitting water sorption isotherms of foods. Part III. Evaluation of various three–parameter model”. *Journal of Food Technology* 14(5): 527–534.
- [4] BRUNAUER S., L.S. DEMING, W.E. DEMING, E. TELLER. 1940. „On the theory of the van der Waals adsorption of gases”. *Journal of the American Chemical Society* 62: 1723–1732.

- [5] **CYBULSKA E.B. 2002.** „Woda jako składnik żywności”. W: *Chemia żywności. Skład, przemiany i właściwości żywności* (red. Z. Sikorski), Warszawa: WNT: 55–87.
- [6] **GAL S. 1983.** „The need for, and practical applications of sorption data”. In: *Physical Properties of Foods* (eds R. Jowitt, F. Escher, B. Hallstrom, H.F.T. Meffert, W.E.L. Spiess, G. Vos), Applied Science Published, New York: 13–25.
- [7] **GAŚSIOROWSKI H. 2003.** „Wartość fizjologiczno-żywnościowa owsa”. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 47: 26–28.
- [8] **GREENSPAN L. 1977.** „Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions”. *Journal of Research of the National Bureau of Standards – A. Physics and Chemistry* 81A: 89–96.
- [9] **LABUZA T.P. 1968.** „Sorption phenomena in food”. *Food Technology* 22: 263–272.
- [10] **LABUZA T.P., A. KAAANANE, J.Y. CHEN. 1985.** „Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods”. *Journal of Food Science* 50(2): 385–391.
- [11] **LEWICKI P.P. 1998.** „A three parameter equation for food moisture sorption isotherms”. *Journal of Food Process Engineering* 21: 127–144.
- [12] **LEWICKI P.P. 1997a.** „Water sorption isotherms and their estimation in food model mechanical mixtures”. *Journal of Food Engineering* 32(1): 47–68.
- [13] **LEWICKI P.P. 1997b.** „The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms”. *International Journal of Food Science and Technology* 32(6): 553–557.
- [14] **MARZEC A., M. BOROWIEC, P.P. LEWICKI. 2005.** „Badanie tekstury pieczywa chrupkiego metodą emisji akustycznej”. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 4(45): 75–81.
- [15] **OYELADE O.J., T.Y. TUNDE-AKINTUNDE, J.C. IGBEKA, M.O. OKE, O.Y. RAJI. 2008.** „Modeling moisture sorption isotherms for maize flour”. *Journal of Stored Products Research* 44: 179–185.
- [16] **PAŁACHA Z. 2010.** „Właściwości sorpcyjne”. W: *Właściwości fizyczne żywności* (red. Z. Pałacha, I. Sitkiewicz), Warszawa: WNT: 143–169.
- [17] **PAŁACHA Z., A. SAS. 2016.** „Właściwości sorpcyjne wybranych gatunków ryżu”. *Acta Agrophysica* 23(4): 681–694.
- [18] **PAŁACHA Z., Ł. SZCZEŚNIAK. 2014.** „Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wybranych makaronów”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 24/44(1): 22–28.
- [19] **PAŁACHA Z., P. CHRZANOWSKI. 2013.** „Badanie procesu adsorpcji i desorpcji wody wybranych skrobi”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 23/42(1): 58–63.
- [20] **PAŁACHA Z., A. MALCZEWSKA. 2010.** „Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wybranych przypraw”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 20/36(1): 12–18.
- [5] **CYBULSKA E.B. 2002.** „Woda jako składnik żywności”. W: *Chemia żywności. Skład, przemiany i właściwości żywności* (red. Z. Sikorski), Warszawa: WNT: 55–87.
- [6] **GAL S. 1983.** „The need for, and practical applications of sorption data”. In: *Physical Properties of Foods* (eds R. Jowitt, F. Escher, B. Hallstrom, H.F.T. Meffert, W.E.L. Spiess, G. Vos), Applied Science Published, New York: 13–25.
- [7] **GASIOROWSKI H. 2003.** „Wartosc fizjologiczno-żywnościowa owsa”. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 47: 26–28.
- [8] **GREENSPAN L. 1977.** „Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions”. *Journal of Research of the National Bureau of Standards – A. Physics and Chemistry* 81A: 89–96.
- [9] **LABUZA T.P. 1968.** „Sorption phenomena in food”. *Food Technology* 22: 263–272.
- [10] **LABUZA T.P., A. KAAANANE, J.Y. CHEN. 1985.** „Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods”. *Journal of Food Science* 50(2): 385–391.
- [11] **LEWICKI P.P. 1998.** „A three parameter equation for food moisture sorption isotherms”. *Journal of Food Process Engineering* 21: 127–144.
- [12] **LEWICKI P.P. 1997a.** „Water sorption isotherms and their estimation in food model mechanical mixtures”. *Journal of Food Engineering* 32(1): 47–68.
- [13] **LEWICKI P.P. 1997b.** „The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms”. *International Journal of Food Science and Technology* 32(6): 553–557.
- [14] **MARZEC A., M. BOROWIEC, P.P. LEWICKI. 2005.** „Badanie tekstury pieczywa chrupkiego metodą emisji akustycznej”. *Zywnosc. Nauka. Technologia. Jakosc* 4(45): 75–81.
- [15] **OYELADE O.J., T.Y. TUNDE-AKINTUNDE, J.C. IGBEKA, M.O. OKE, O.Y. RAJI. 2008.** „Modeling moisture sorption isotherms for maize flour”. *Journal of Stored Products Research* 44: 179–185.
- [16] **PAŁACHA Z. 2010.** „Właściwości sorpcyjne”. W: *Właściwości fizyczne żywności* (red. Z. Pałacha, I. Sitkiewicz), Warszawa: WNT: 143–169.
- [17] **PAŁACHA Z., A. SAS. 2016.** „Właściwości sorpcyjne wybranych gatunków ryżu”. *Acta Agrophysica* 23(4): 681–694.
- [18] **PAŁACHA Z., Ł. SZCZESNIAK. 2014.** „Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wybranych makaronów”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 24/44(1): 22–28.
- [19] **PAŁACHA Z., P. CHRZANOWSKI. 2013.** „Badanie procesu adsorpcji i desorpcji wody wybranych skrobi”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 23/42(1): 58–63.
- [20] **PAŁACHA Z., A. MALCZEWSKA. 2010.** „Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wybranych przypraw”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 20/36(1): 12–18.

- [21] **PENG G., X. CHEN, W. WU, X. JIANG. 2007.** „Modeling of water sorption isotherm for corn starch”. *Journal of Food Engineering* 80: 562–567.
- [22] **ROCKLAND L.B. 1960.** „Saturated salt solution for static control of relative humidity between 5 and 40°C”. *Analytical Chemistry* 32: 1375–1376.
- [23] **SPIESS W.E.L., W.R. WOLF. 1983.** „The results of the COST 90 project on water activity”. In: *Physical Properties of Foods* (eds. R. Jowitt, F. Escher, B. Hallstrom, H.F.T. Meffert, W.E.L. Spiess, G. Vos), Elsevier Applied Science Publishers, London: 65–87.
- [24] **SYKUT-DOMAŃSKA E. 2012.** „Charakterystyka wybranych asortymentów zbóż śniadaniowych na rynku polskim i brytyjskim”. *Bromatologia Chemia Toksykologia* 45: 72–82.
- [25] **WŁODARCZYK-STASIAK M., J. JAMROZ. 2008.** „Analysis of sorption properties of starch–protein extrudates with the use of water vapour”. *Journal of Food Engineering* 85: 580–589.

- [21] **PENG G., X. CHEN, W. WU, X. JIANG. 2007.** „Modeling of water sorption isotherm for corn starch”. *Journal of Food Engineering* 80: 562–567.
- [22] **ROCKLAND L.B. 1960.** „Saturated salt solution for static control of relative humidity between 5 and 40°C”. *Analytical Chemistry* 32: 1375–1376.
- [23] **SPIESS W.E.L., W.R. WOLF. 1983.** „The results of the COST 90 project on water activity”. In: *Physical Properties of Foods* (eds. R. Jowitt, F. Escher, B. Hallstrom, H.F.T. Meffert, W.E.L. Spiess, G. Vos), Elsevier Applied Science Publishers, London: 65–87.
- [24] **SYKUT-DOMANSKA E. 2012.** „Charakterystyka wybranych asortymentow zboz sniadaniowych na rynku polskim i brytyjskim”. *Bromatologia Chemia Toksykologia* 45: 72–82.
- [25] **WŁODARCZYK-STASIAK M., J. JAMROZ. 2008.** „Analysis of sorption properties of starch–protein extrudates with the use of water vapour”. *Journal of Food Engineering* 85: 580–589.