

Dr hab. inż. Zbigniew PAŁACHA, Prof. SGGW  
Mgr inż. Piotr CHRZANOWSKI  
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, SGGW w Warszawie

## BADANIE PROCESU ADSORPCJI I DESORPCJI WODY WYBRANYCH SKROBI®

*W prezentowanym artykule wyznaczono izotermy adsorpcji i desorpcji wody wybranych skrobi (ziemniaczanej natywnej oraz skrobi modyfikowanych: kukurydzianej, z kukurydzy woskowej i z tapioki) w temperaturze 25°C, w zakresie aktywności wody od 0,113 do 0,903. Stwierdzono, że izotermy dla badanych skrobi miały przebieg sigmoidalny i należały do II typu izoterm zgodnie z klasyfikacją Brunauera i współpracowników. Wszystkie izotermy wykazały pętlę histerezy, przy czym największą pętlę histerezy charakteryzowała się skrobia ziemniaczana bez modyfikacji. Pętla histerezy pozostałych skrobi modyfikowanych były do siebie podobne. Model Pelega najlepiej opisywał otrzymane izotermy adsorpcji i desorpcji wody.*

### WSTĘP

Skrobie ze zbóż, bulw i korzeni są powszechnie wykorzystywane w przemyśle spożywczym. Wykorzystanie skrobi nasywanych jest ograniczone z powodu niedoskonałości ich właściwości fizycznych i chemicznych. Dlatego przeprowadza się ich modyfikacje w celu poprawienia bądź otrzymania nowych właściwości, niezbędnych do uzyskania oczekiwanej jakości gotowego produktu. Najczęściej stosowane są modyfikacje, do których zalicza się m. in. hydrolizę kwasową, utlenianie, estryfikację, eteryfikację i sieciowanie [30, 34]. Skrobie modyfikowane dodaje się do wielu produktów spożywczych w celu stabilizacji i modyfikacji ich tekstury [19].

W literaturze były szeroko omawiane właściwości reologiczne i funkcjonalne skrobi nasywanych i modyfikowanych [13, 31], zmiany w mikrostrukturze ziaren [10, 13, 37] oraz właściwości powierzchniowe [1, 27]. Bardzo ważną rolę odgrywają również właściwości fizyczne skrobi w postaci sypkiej. Kształt i wielkość ziaren, skład granulometryczny, gęstość rzeczywista, pozorna i nasypowa oraz porowatość decydują o właściwościach mechanicznych i zdolności do płynięcia proszków [20].

Właściwości sorpcyjne skrobi nasywanych i modyfikowanych w postaci sypkiej mają wpływ na przebieg wielu operacji i procesów technologicznych oraz przechowywanie. Skutecznym narzędziem określania tych właściwości jest wyznaczenie izoterm adsorpcji i desorpcji wody, a następnie ich analiza [23]. Dzięki wyznaczonym izotermom można określić wrażliwość skrobi na wilgoć oraz stopień chłonięcia lub oddawania przez nie wody, a także przewidzieć zmiany jakie mogą wystąpić w materiale w trakcie jego przechowywania [23].

Przebieg izoterm większości produktów żywnościowych, w tym skrobi, charakteryzuje się pętlą histerezy [1, 24, 26]. Wielkość i kształt pętli, punkt początkowy i końcowy pętli mogą się znacznie różnić w zależności od natury materiału, temperatury, szybkości i stopnia odwodnienia [9]. W dostępnej literaturze znajduje się wiele pozycji dotyczących izoterm adsorpcji wody zarówno skrobi nasywanych jak i modyfikowanych [5, 8, 10, 19, 28, 33, 35], natomiast materiał dotyczący izoterm desorpcji i pętli histerezy jest bardzo skromny.

**Celem pracy zaprezentowanej w artykule było wyznaczenie izoterm adsorpcji i desorpcji wody dla wybra-**

**nych skrobi w temperaturze 25°C. Zakres pracy obejmował określenie wpływu rodzaju skrobi na przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody oraz próbę ich matematycznego opisu. Określona została również powierzchnia właściwa badanych skrobi na podstawie pojemności monowarstwowej.**

### METODYKA BADAŃ

#### 1. Materiał badawczy

Do badań użyto 4 różne rodzaje skrobi:

- skrobia ziemniaczana natywna (NOVATION 1600),
- skrobia kukurydziana (PURITY NCSA), modyfikowana E1412 (fosforan diskrobiowy),
- skrobia z kukurydzy woskowej (COLFLO 67), modyfikowana E1422 (acetylowany adypinian diskrobiowy),
- skrobia z tapioki (PURITY MAC), modyfikowana E1442 (hydroksypropylofosforan diskrobiowy).

#### 2. Metody analityczne

##### 2.1. Oznaczenie zawartości wody

Zawartość wody w skrobiach oznaczano metodą suszenia pod obniżonym ciśnieniem w suszarce Horyzont Spt-200. Próbkę materiału suszono w temperaturze 70 ±1°C, pod ciśnieniem 0,266 kPa, przez 24 godziny [2].

##### 2.2. Oznaczenie aktywności wody

Aktywność wody skrobi zmierzono za pomocą miernika aktywności wody Rotronic Hygroskop DT w temperaturze 25 ±1°C. Pomiar przeprowadzono w 3 równoległych powtórzeniach.

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

Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wyznaczono metodą statyczno-eksykatorową [32], stosując jako czynniki higrostatyczne nasycone roztwory soli (LiCl, CH<sub>3</sub>COOK, MgCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, NaNO<sub>2</sub>, NaCl, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i BaCl<sub>2</sub>) [11, 16, 29], w zakresie aktywności wody od 0,113 do 0,903 w temperaturze 25°C. W przypadku procesu adsorpcji, próbki skrobi (ok. 1 g) dosuszone w temperaturze 70°C, pod ciśnieniem 0,266 kPa w ciągu 24 godzin, umieszczono w higrostatkach

i przetrzymywano w nich przez 3 miesiące. W przypadku procesu desorpcji, skrobie początkowo nawilżano przez 14 dni w temperaturze 25°C w eksykatorze z wodą destylowaną ( $a_w = 1,0$ ) do uzyskania aktywności wody materiału powyżej 0,9. Następnie nawilżone próbki skrobi (ok. 1 g) umieszczano w higrostatkach i przetrzymywano w nich przez 3 miesiące. Na podstawie obliczonej równowagowej zawartości wody (g wody/100 g s.s.) wyznaczono izoterm adsorpcji i desorpcji wody badanych skrobi i przeprowadzono ich analizę.

### 3. Metody obliczeniowe

#### 3.1. Opis izoterm adsorpcji i desorpcji wody

Do opisu izoterm adsorpcji i desorpcji wody badanych skrobi zastosowano następujące modele: BET [7], Halseya [12], Oswina [21], GAB [4], Lewickiego [17] i Pelega [25]. Przydatność modeli do opisu uzyskanych izoterm została oceniona na podstawie współczynnika determinacji ( $R^2$ ) i średniego błędu kwadratowego (RMS) wyrażonego w procentach [17].

#### 3.2. Obliczenie powierzchni właściwej

Powierzchnię właściwą badanych skrobi obliczono z równania 1 [15]:

$$S = \frac{u_m \cdot N_o \cdot \sigma_o}{M} \quad (1)$$

gdzie:

$S$  – powierzchnia właściwa adsorbentu,  $m^2/g$  s.s.,

$u_m$  – zawartość wody w monowarstwie, g wody/ g s.s.,

$N_o$  – liczba Avogadra ( $6,023 \times 10^{23}$  cząsteczek/mol),

$\sigma_o$  – powierzchnia siadania cząsteczki wody ( $10,6 \times 10^{-20}$   $m^2$ /cząsteczka),

$M$  – masa molowa wody (18 g/mol).

## OMÓWIENIE I Dyskusja Wyników

### 1. Charakterystyka badanych skrobi

Tabela 1. Początkowa zawartość wody i aktywność wody w badanych skrobiach

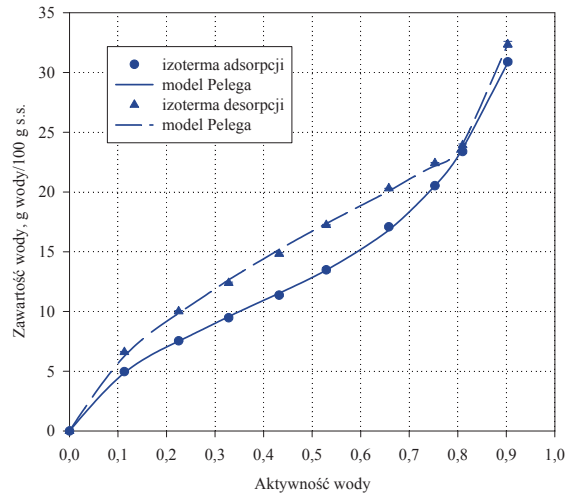
Rodzaj skrobi	Zawartość wody [%]	Aktywność wody
Skrobia ziemniaczana natywna	$12,38 \pm 0,09$	$0,544 \pm 0,002$
Skrobia kukurydziana modyfikowana E1412	$11,85 \pm 0,41$	$0,543 \pm 0,003$
Skrobia z kukurydzy woskowej modyfikowana E1422	$10,86 \pm 0,66$	$0,490 \pm 0,006$
Skrobia z tapioki modyfikowana E1442	$12,81 \pm 0,60$	$0,587 \pm 0,005$

Źródło: Badania własne

W tabeli 1 przedstawiono średnią początkową zawartość i aktywność wody w badanych skrobiach. Stwierdzono, że najwyższą zawartością wody charakteryzowała się skrobia z tapioki (12,81%) oraz skrobia ziemniaczana (12,38%). Natomiast najniższą zawartość wody posiadała skrobia z kukurydzy woskowej (10,86%). Podobną tendencję stwierdzono

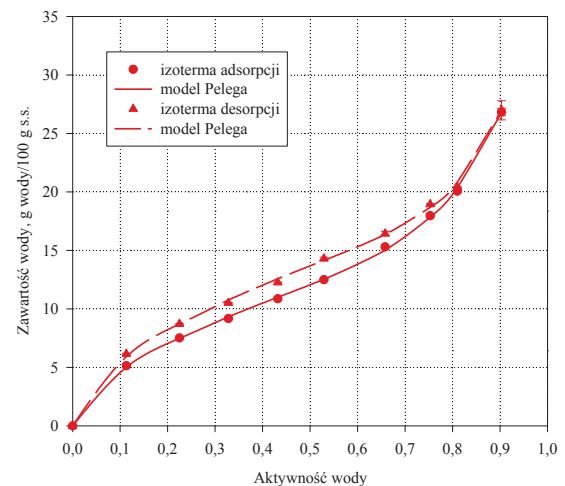
dla aktywności wody. Najwyższą aktywność wody posiadały skrobie z tapioki (0,587) oraz ziemniaczana (0,544), a najniższą skrobia z kukurydzy woskowej (0,490).

### 2. Izoterm adsorpcji i desorpcji wody



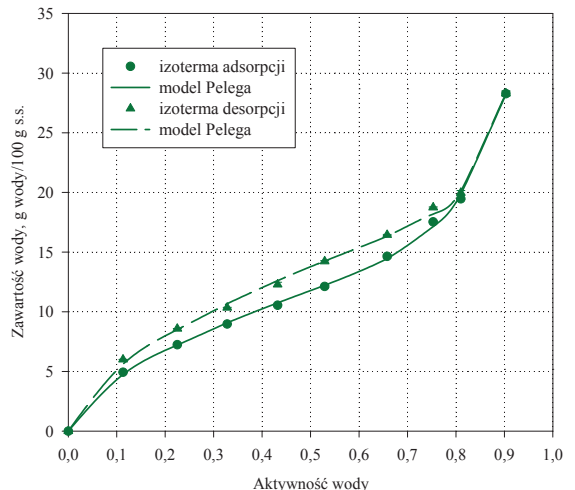
Rys. 1. Izoterm adsorpcji i desorpcji wody skrobi ziemniaczanej.

Źródło: Badania własne



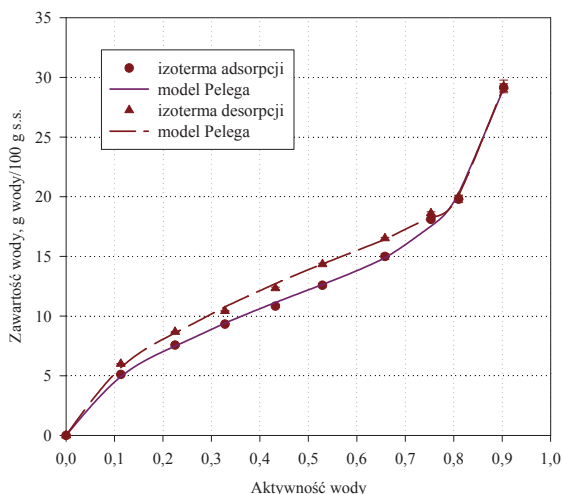
Rys. 2. Izoterm adsorpcji i desorpcji wody skrobi kukurydzianej.

Źródło: Badania własne



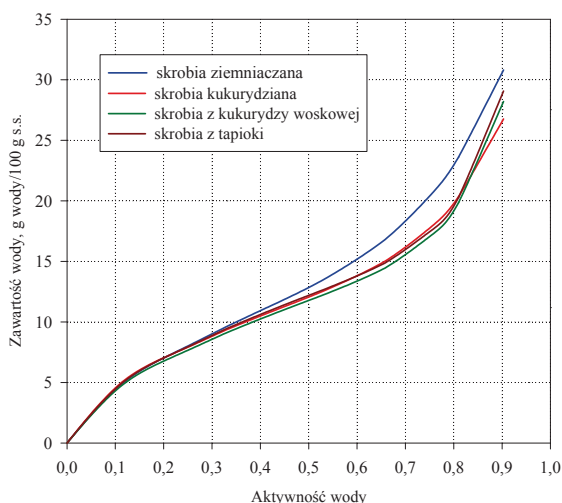
Rys. 3. Izoterm adsorpcji i desorpcji wody skrobi z kukurydzy woskowej.

Źródło: Badania własne



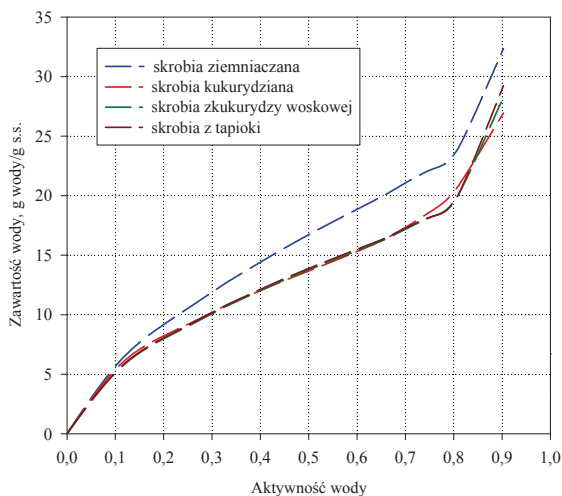
**Rys. 4.** Izotermy adsorpcji i desorpcji wody skrobi z tapioki.

Źródło: Badania własne



**Rys. 5.** Izotermy adsorpcji wody badanych skrobi opisane modelem Pelega.

Źródło: Badania własne



**Rys. 6.** Izotermy desorpcji wody badanych skrobi opisane modelem Pelega.

Źródło: Badania własne

Na rysunkach 1-6 przedstawiono przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody badanych skrobi. Wszystkie izotermy adsorpcji i desorpcji wody posiadały kształt sigmoidalny,

odpowiadający II typowi izoterm w klasyfikacji Brunauera i wsp. [6], charakterystyczny dla produktów zawierających skrobię i białka.

Przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody wykazał histerzę, przy czym jej kształt był zróżnicowany i wynikał z rodzaju badanej skrobi. Największą pętlę histerazy stwierdzono dla skrobi ziemniaczanej natywnej (rys. 1). Znacznie mniejsze pętle histerazy posiadały skrobie modyfikowane, kukurydziana (rys. 2), z kukurydzy woskowej (rys. 3) i z tapioki (rys. 4), jednak w każdym przypadku były one wyraźnie zaznaczone. Proces chemicznej modyfikacji skrobi, miał znaczący wpływ na kształt ich pętli histerazy, a tym samym, na zdolność adsorpcji i desorpcji wody. We wszystkich badanych skrobiach początek pętli histerazy stwierdzono przy bardzo niskiej aktywności wody. Przy aktywności wody ok. 0,8, dla skrobi modyfikowanych, stwierdzono praktycznie zamknięcie pętli histerazy. W przypadku skrobi ziemniaczanej natywnej nie doszło do zamknięcia pętli histerazy, jednakże izotermy adsorpcji i desorpcji wody znacznie zbliżyły się do siebie. Na zjawisko histerazy miało wpływ wiele czynników, m. in. pochodzenie skrobi odzwierciedlające ich możliwości do przebiegu zmian konformacyjnych, decydujących o dostępności efektywnych energetycznie miejsc polarnych, proces chemicznej modyfikacji skrobi zmieniający ich strukturę, temperatura i czas przechowywania oraz sposób przygotowania próbek do badania procesu adsorpcji i desorpcji [1, 3]. Al-Muhtaseb i wsp. [1] otrzymali otwarte pętle histerazy, przy wysokich wartościach aktywności wody, dla proszków skrobi ziemniaczanej, a Oyehede i wsp. [22] dla mąki kukurydzianej uzyskali kształt pętli histerazy zbliżony do badanych w pracy skrobi modyfikowanych.

Na rysunku 5 zestawiono izotermy adsorpcji wody, a na rysunku 6 izotermy desorpcji wody, wszystkich badanych skrobi. Najbardziej higroskopijną okazała się skrobia ziemniaczana natywna (rys. 5), a najmniej higroskopijną skrobia modyfikowana kukurydzy woskowej w przedziale aktywności wody od 0,0 do 0,8. Generalnie, izotermy adsorpcji wody skrobi modyfikowanych były zbliżone do siebie i przebiegały znacznie poniżej izoterm dla skrobi ziemniaczanej. Mishra i Rai [19] badając skrobie natywne ziemniaczaną, kukurydzianą i z tapioki, stwierdzili także największą higroskopijność skrobi ziemniaczanej, a najmniejszą skrobi kukurydzianej. W przypadku izoterm desorpcji wody (rys. 6), materiałami najlepiej oddającymi wodę okazały się skrobie modyfikowane (ich izotermy desorpcji wody, w całym badanym zakresie aktywności wody, były zbliżone do siebie), a materiałem najtrudniej oddającym wodę była skrobia ziemniaczana natywna.

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

Do opisu izoterm adsorpcji i desorpcji wody skrobi wykorzystano 6 modeli: 3 modele dwuparametrowe (BET, Halseya i Oswina), 2 modele trójparametrowe (GAB i Lewickiego) oraz model czteroparametrowy (Pelega). W tabelach 2 i 3 zestawiono obliczone parametry dla skrobi w zastosowanych modelach izoterm, pokazano zgodność dopasowania tych modeli przez współczynnik determinacji ( $R^2$ ) oraz średni błąd kwadratowy (RMS). Praktycznie, wszystkie modele poprawnie opisywały przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji

**Tabela 2. Obliczone parametry modeli izoterm adsorpcji wody badanych skrobi**

Model (parametry)	Skrobie – proces adsorpcji			
	Ziemniaczana	Kukurydziana	z kukurydzy woskowej	z tapioki
<b>BET*</b>				
u <sub>m</sub>	7,207	6,743	6,589	6,781
C	13,256	17,996	17,021	17,751
R <sup>2</sup>	0,9983	0,9976	0,9977	0,9963
RMS, %	2,09	2,37	2,27	2,90
<b>Halsey</b>				
g	105,409	133,109	86,640	93,706
n	1,998	2,159	2,013	2,020
R <sup>2</sup>	0,9835	0,9860	0,9919	0,9912
RMS, %	13,90	10,45	8,90	8,89
<b>Oswin</b>				
h	12,819	11,876	11,438	11,795
z	0,402	0,367	0,396	0,394
R <sup>2</sup>	0,9981	0,9992	0,9974	0,9960
RMS, %	4,50	2,93	2,66	3,22
<b>GAB</b>				
u <sub>m</sub>	8,483	7,727	6,725	6,893
C	11,886	17,412	26,664	28,723
k	0,811	0,791	0,841	0,841
R <sup>2</sup>	0,9996	0,9977	0,9940	0,9922
RMS, %	1,31	2,50	5,17	5,74
<b>Lewicki</b>				
F	21,306	19,397	16,333	16,705
G	0,291	0,273	0,341	0,343
H	0,659	0,534	0,422	0,405
R <sup>2</sup>	0,9996	0,9996	0,9978	0,9965
RMS, %	1,40	1,25	3,40	4,04
<b>Peleg</b>				
A	23,114	17,849	29,568	18,513
B	5,860	0,583	9,339	0,607
D	19,299	20,632	17,874	31,900
E	0,632	7,157	0,608	9,860
R <sup>2</sup>	0,9996	0,9993	0,9991	0,9985
RMS, %	1,25	1,51	1,81	2,16

\* zakres aktywności wody 0,000 – 0,432

Źródło: Badania własne

wody skrobi (RMS mniejszy od 10%). Można zauważyć, że model Pelega najlepiej opisywał dane doświadczalne zarówno procesu adsorpcji jak i desorpcji wody. Wartości średniego błędu kwadratowego (RMS) dla modelu Pelega były niższe od 2,62%. Graficzne dopasowanie danych uzyskanych z modelu Pelega do izoterm adsorpcji i desorpcji wody skrobi przedstawiono na rysunkach 1-6.

Al-Muhtaseb i wsp. [1] wykazali, że modele Pelega, GAB i Ferro-Fontan najlepiej opisywały izotermy adsorpcji i desorpcji wody proszków skrobi ziemniaczanej. Z kolei Oyelade i wsp. [22] stwierdzili, że model GAB najlepiej opisywał izotermy adsorpcji i desorpcji wody mąki kukurydzianej. Natomiast modele GAB, Pelega i Hendersona były najbardziej przydatne do opisu danych sorpcyjnych skrobi kukurydzianej [4, 26].

Modele BET i GAB pozwalają wyznaczyć zawartość wody w monowarstwie i są uznawane za najbardziej przydatne do przewidywania optymalnych warunków przechowania

**Tabela 3. Obliczone parametry modeli izoterm desorpcji wody badanych skrobi**

Model (parametry)	Skrobie – proces desorpcji			
	Ziemniaczana	Kukurydziana	z kukurydzy woskowej	z tapioki
<b>BET*</b>				
u <sub>m</sub>	9,344	7,517	7,541	7,588
C	14,363	23,256	20,623	20,528
R <sup>2</sup>	0,9981	0,9975	0,9982	0,9978
RMS, %	2,27	2,36	2,04	2,33
<b>Halsey</b>				
g	434,883	206,400	234,700	235,300
n	2,382	2,255	2,301	2,309
R <sup>2</sup>	0,9711	0,9740	0,9816	0,9816
RMS, %	13,93	8,66	9,69	9,63
<b>Oswin</b>				
h	15,605	13,228	13,159	13,321
z	0,326	0,320	0,342	0,351
R <sup>2</sup>	0,9927	0,9977	0,9937	0,9892
RMS, %	7,41	3,98	4,08	4,79
<b>GAB</b>				
u <sub>m</sub>	11,099	8,836	8,283	8,023
C	15,958	22,465	26,470	31,340
k	0,725	0,743	0,776	0,794
R <sup>2</sup>	0,9906	0,9950	0,9884	0,9842
RMS, %	4,50	3,26	5,18	6,33
<b>Lewicki</b>				
F	29,185	23,180	22,108	22,002
G	0,201	0,220	0,249	0,261
H	0,599	0,517	0,506	0,504
R <sup>2</sup>	0,9956	0,9985	0,9928	0,9873
RMS, %	3,05	1,71	3,44	4,61
<b>Peleg</b>				
A	50,211	20,081	20,909	51,401
B	18,449	9,103	0,603	16,620
D	26,427	20,128	39,917	21,056
E	0,661	0,562	15,015	0,601
R <sup>2</sup>	0,9993	0,9991	0,9988	0,9991
RMS, %	2,10	1,86	2,62	2,38

\* zakres aktywności wody 0,000 – 0,432

Źródło: Badania własne

oraz stabilności przechowalniczej żywności o małej i średniej zawartości wody [23]. Generalnie, zarówno dla procesu adsorpcji i desorpcji wody, wartości pojemności monowarstwy (u<sub>m</sub>) uzyskane z modelu GAB były nieznacznie wyższe od wartości z modelu BET (tab. 2 i 3). Ponadto, dla wszystkich badanych skrobi, wyższe wartości u<sub>m</sub> uzyskano w procesie desorpcji. Podobną tendencję stwierdzono dla proszków skrobi ziemniaczanej [1], skrobi kukurydzianej [26], mąki kukurydzianej [22] oraz kardamonu i kurkumy [24]. Badane skrobie modyfikowane posiadały zbliżone wartości pojemności monowarstwy (adsorpcja lub desorpcja), lecz były one niższe od wartości u<sub>m</sub> dla skrobi ziemniaczanej natywnej.

Wartości stałych C (model BET) oraz C i k (model GAB) (tab. 2 i 3) potwierdziły poprawność sigmoidalnego kształtu (izoterma typu II) izoterm adsorpcji i desorpcji wody badanych skrobi (C > 10, k = 0,72 ÷ 0,84) [18].



#### 4. Powierzchnia właściwa badanych skrobi

**Tabela 4. Powierzchnia właściwa adsorbentu (matrycy) badanych skrobi**

Rodzaj skrobi	Powierzchnia właściwa (S), m <sup>2</sup> /g s.s.	
	monowarstwa BET	monowarstwa GAB
skrobia ziemniaczana	255,6	300,9
skrobia kukurydziana	239,2	274,1
skrobia z kukurydzy woskowej	233,7	238,5
skrobia z tapioki	240,5	244,5

**Źródło:** Badania własne

W tabeli 4 podano wartości powierzchni właściwej badanych skrobi obliczone na podstawie pojemności monowarstwy BET oraz GAB. W każdym przypadku stwierdzono, wyższe wartości powierzchni właściwej obliczone dla pojemności monowarstwy GAB. Skrobia ziemniaczana natywna posiadała największą powierzchnię właściwą wynoszącą 255,6 m<sup>2</sup>/g s.s. ( $u_m$  z BET) oraz 300,9 m<sup>2</sup>/g s.s. ( $u_m$  z GAB). Natomiast najmniejszą powierzchnię właściwą posiadała skrobia modyfikowana z kukurydzy woskowej, wynoszącą odpowiednio 233,7 i 238,5 m<sup>2</sup>/g s.s. Powierzchnia właściwa skrobi modyfikowanych była od 6 do 21% mniejsza od powierzchni właściwej skrobi ziemniaczanej natywnej.

Skrobia ziemniaczana natywna posiadająca największą powierzchnię właściwą chłonięła najwięcej pary wodnej w procesie adsorpcji. Natomiast skrobia z kukurydzy woskowej, posiadająca najmniejszą powierzchnię właściwą, chłonięła najmniej pary wodnej. Ponadto, wartości powierzchni właściwej skrobi modyfikowanych, bez względu na pochodzenie skrobi i sposób ich modyfikacji, były zbliżone do siebie. Podobne wartości powierzchni właściwej otrzymali Włodarczyk-Stasiak i Jamroz [36] dla ekstraktów skrobiowo-białkowych (od 209 do 298 m<sup>2</sup>/g s.s.) oraz Knani i wsp. [14] dla otrębów pszennych i kukurydzianych oraz błonnika ryżowego i owsianego (od 130 do 260 m<sup>2</sup>/g s.s.).

#### WNIOSKI

1. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wszystkich badanych skrobi wykazały II typ izoterm wg klasyfikacji Brunauera i wsp.
2. Zjawisko histerezy było widoczne dla każdej skrobi, przy czym największą pętlą histerezy charakteryzowała się skrobia ziemniaczana natywna. Natomiast wielkość i kształt pętli histerezy skrobi modyfikowanych były do siebie podobne.
3. Model Pelega najlepiej opisywał dane sorpcyjne wszystkich skrobi w całym badanym zakresie aktywności wody 0,113 – 0,903.
4. Wartości pojemności monowarstwy, zarówno dla procesu adsorpcji i desorpcji wody, wyznaczone z modelu GAB były nieznacznie wyższe od wartości wyznaczonych z modelu BET dla wszystkich skrobi. Ponadto, wyższe wartości pojemności monowarstwy uzyskano w procesie desorpcji.

5. Największą powierzchnię właściwą, największą pojemność monowarstwy, najwyższy przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody stwierdzono dla skrobi ziemniaczanej natywnej.
6. Skrobie chemicznie modyfikowane wykazały zmniejszoną higroskopijność w porównaniu ze skrobią ziemniaczaną natywną. Nie stwierdzono istotnego wpływu rodzaju skrobi modyfikowanych i sposobu ich modyfikacji na właściwości sorpcyjne.

#### LITERATURA

- [1] **AI-MUHTASEB A.H., McMINN W.A.M., MAGEE T.R.A. 2004.** *Water sorption isotherms of starch powders. Part 1. Mathematical description of experimental data.* Journal of Food Engineering, 61, 297-307.
- [2] **AOAC 1996.** *Official methods of analysis.* Association of Official Analytical Chemists. Arlinton, VA.
- [3] **BENADO A.L., RIZVI S.S.H. 1985.** *Thermodynamic properties of water on rice as calculated from the reversible and irreversible isotherms.* Journal of Food Science, 50 (2), 101-105.
- [4] **BIZOT H. 1983.** *Using the "GAB" model to construct sorption isotherms.* In: Physical Properties of Foods (eds. R. Jowitt, F. Escher, B. Hallstrom, H.F.T. Meffert, W.E.L. Spiess, G. Vos), Applied Science Publishers, New York, 43-54.
- [5] **BOKIK., OHNO S. 1991.** *Equilibrium isotherm equations to represent moisture sorption on starch.* Journal of Food Science, 56(4), 1106-1110.
- [6] **BRUNAUER S., DEMING L.S., DEMING W.E., TELLER E. 1940.** *On the theory of the van der Waals adsorption of gases.* Journal of the American Chemical Society, 62, 1723-1732.
- [7] **BRUNAUER S., EMMETT P.H., TELLER E. 1938.** *Adsorption of gases in multilayers.* Journal of the American Chemical Society, 60, 309-319.
- [8] **CHOI S-G., KERR W.L. 2003.** *Effects of chemical modification of wheat starch on molecular mobility as studied by pulsed <sup>1</sup>H NMR.* Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 36, 105-112.
- [9] **CYBULSKA E.B. 2002.** *Woda jako składnik żywności.* W: Chemia żywności. Skład, przemiany i właściwości żywności (red. Z. Sikorski), WNT, Warszawa, 55-87.
- [10] **FORNAL J., SADOWSKA J., BŁASZCZAK W., JELIŃSKI T., STASIAK M., MOLENDAM., HAJNOS M. 2012.** *Influence of some chemical modifications on the characteristics of potato starch powders.* Journal of Food Engineering, 108, 515-522.
- [11] **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.
- [12] **HALSEY G. 1948.** *Physical adsorption on non-uniform surfaces.* Journal of Chemical Physics, 16(10), 931-937.
- [13] **KAUR L., SINGH N., SINGH J. 2004.** *Factors in-*

- fluencing the properties of hydroxypropylated potato starches.* Carbohydrate Polymers, 55, 211-223.
- [14] **KNANI S., KHALFAOUI M., HACHICHA M.A., LAMINE A.B., MATHLOUTHI M. 2012.** *Modelling of water vapour adsorption on foods products by a statistical physics treatment using the grand canonical ensemble.* Food Chemistry, 132, 1686-1692.
- [15] **LABUZA T.P. 1968.** *Sorption phenomena in food.* Food Technology, 22, 263-272.
- [16] **LABUZA T.P., KAAANANE A., CHEN J.Y. 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.
- [17] **LEWICKI P.P. 1998.** *A three parameter equation for food moisture sorption isotherms.* Journal of Food Process Engineering, 21, 127-144.
- [18] **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.
- [19] **MISHRA SANGEETHA, RAI T. 2006.** *Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches.* Food Hydrocolloids, 20, 557-566.
- [20] **MOLENDAM M., STASIAK M., HORABIK J., FORMAL J., BŁASZCZYK W., ORMOWSKI A. 2006.** *Microstructure and mechanical parameters of five types of starch.* Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 15/56(2), 161-168.
- [21] **OSWIN C.R. 1946.** *The kinetics of package life. III. The isotherm.* Journal of Chemical Industry (London), 65, 419-423.
- [22] **OYELADE O.J., TUNDE-AKINTUNDE T.Y., IGBEKA J.C., OKE M.O., RAJI O.Y. 2008.** *Modelling moisture sorption isotherms for maize flour.* Journal of Stored Products Research, 44, 179-185.
- [23] **PAŁACHA Z. 2010.** *Właściwości sorpcyjne.* W: Właściwości fizyczne żywności (red. Z. Pałacha, I. Sitkiewicz), WNT, Warszawa, 143-169.
- [24] **PAŁACHA Z., MALCZEWSKA A. 2010.** *Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wybranych przypraw.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 20/36(1), 12-18.
- [25] **PELEG M. 1993.** *Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms.* Journal of Food Process Engineering, 16(1), 21-37.
- [26] **PENG G., CHEN X., WU W., JIANG X. 2007.** *Modeling of water sorption isotherm for corn starch.* Journal of Food Engineering, 80, 562-567.
- [27] **PROCHASKA K., KĘDZIORA P., LE THAN J., LEWANDOWICZ G. 2007.** *Surface activity of commercial food grade modified starches.* Colloids and Surfaces B. Biointerfaces, 60, 187-194.
- [28] **RESIO A.C., AGUERRE R.J., SUAREZ C. 1999.** *Analysis of the sorption characteristics of amaranth starch.* Journal of Food Engineering, 42, 51-57.
- [29] **ROCKLAND L.B. 1960.** *Saturated salt solution for static control of relative humidity between 5 and 40°C.* Analytical Chemistry, 32, 1375-1376.
- [30] **SINGH J., KAUR L., MCCARTHY O.J. 2007.** *Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications – a review.* Food Hydrocolloids, 21, 1-22.
- [31] **SINGH N., SINGH J., KAUR L., SODI N.S., GILL B.S. 2003.** *Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources.* Food Chemistry, 81, 219-231.
- [32] **SPIESS W.E.L., WOLF W.R. 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.
- [33] **THYS R.C.S., NORENA C.P.Z., MARCZAK L.D.F., AIRES A.G., CLADERA-OLIVERA F. 2010.** *Adsorption isotherms of pinhao (Araucaria angustifolia seeds) starch and thermodynamic analysis.* Journal of Food Engineering, 100, 468-473.
- [34] **TOMASIK P. 2000.** *Skrobie modyfikowane i ich zastosowanie.* Przemysł Spożywczy, 4, 16-18.
- [35] **VIOLLAZ P.E., ROVEDO C.O. 1999.** *Equilibrium sorption isotherms and thermodynamic properties of starch and gluten.* Journal of Food Engineering, 40, 287-292.
- [36] **WŁODARCZYK-STASIAK M., JAMROZ J. 2008.** *Analysis of sorption properties of starch-protein extrudates with the use of water vapour.* Journal of Food Engineering, 85, 580-589.
- [37] **YAN H., ZHENGBIAO G.U. 2010.** *Morphology of modified starches prepared by different methods.* Food Research International, 43, 767-772.

## A STUDY OF PROCESS OF ADSORPTION AND DESORPTION OF WATER SELECTED STARCHES

### SUMMARY

*In the paper water adsorption and desorption isotherms of selected starches (native potato starch, modified starches: maize, waxy maize and tapioca) were determined at 25°C over a range of water activity from 0,113 to 0,903. The water adsorption and desorption isotherms had a compatible course with II type isotherms according to BET classification. All isotherms exhibited hysteresis loop but the highest hysteresis loop had a native potato starch. The hysteresis loops of modified starch were similar in the size and shape. The Peleg model gave the best fit to the experimental adsorption and desorption data for all material tested.*