

Dr hab. inż. Zbigniew PAŁACHA, prof. SGGW  
Mgr inż. Anna MALCZEWSKA  
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji  
SGGW w Warszawie

## IZOTERMY ADSORPCJI I DESORPCJI WODY WYBRANYCH PRZYPRAW®

*W pracy prezentowanej w artykule wyznaczono izotermy adsorpcji i desorpcji wody przypraw spożywczych (kminku, imbiru, gałki muszkatołowej, pieprzu czarnego, papryki słodkiej, kardamonu, kurkumy i cynamonu) w temperaturze 25°C, w zakresie aktywności wody (aw) od 0,082 do 0,903. Stwierdzono, że izotermy dla badanych przypraw miały przebieg sigmoidalny i należały do II typu izoterm zgodnie z klasyfikacją Brunauera i współpracowników. Wszystkie izotermy wykazały pętlę histerezy, przy czym jej kształt był zróżnicowany w zależności od rodzaju przyprawy. Klasyczną pętlą histerezy charakteryzowały się jedynie kminek, papryka słodka i kurkuma. Modele Pelega i GAB najlepiej opisywały otrzymane izotermy adsorpcji i desorpcji wody.*

### WSTĘP

Przyprawy, obok herbaty, kawy i kakao, należą do grupy artykułów spożywczych zdefiniowanych jako używki. Międzynarodowa Organizacja Normalizacji (ISO) definiuje przyprawy jako produkty warzywne lub mieszanki przyprawowe, wolne od obcych zapachów, służące do nadawania smaku i aromatu potrawom. Webster natomiast definiuje przyprawy jako każdy aromatyczny produkt warzywny (najczęściej w postaci proszku) jak pieprz, cynamon, gałka muszkatołowa, ziele angielskie, imbir, goździki itp., stosowany w gastronomii do przyprawiania sosów, marynat, do mieszanek przyprawowych, a także jako dodatek uszlachetniający, nadający smak [21].

Wg Ustawy z 11 maja 2001 roku, przyprawy są to substancje lub ich mieszaniny, nie zawierające składników odżywczych lub zawierające je w ilościach nie mających znaczenia w odżywianiu organizmu ludzkiego, które ze względu na swoje oddziaływanie fizjologiczne lub cechy organoleptyczne są przeznaczone do spożywania lub w inny sposób są wprowadzane do organizmu ludzkiego.

Przyprawy to niezbędne składniki pożywienia, ponieważ nadają mu atrakcyjny aromat, pikantny lub delikatny smak, pozytywnie wpływają na trawienie, posiadają działanie konserwujące i często lecznicze. W przemyśle spożywczym przyprawy stosowane są głównie do konserwowania mięsa, ryb, warzyw i owoców, grzybów, w produkcji wędlin, sporządzania likierów oraz w cukiernictwie [11].

Przyprawy mielone, jako że są to produkty przetworzone i utrwalone, oraz ze względu na swoją dostępność, powszechność stosowania i praktyczność, stanowią ważne zagadnienie w technologii żywności [24].

Właściwości sorpcyjne przypraw odgrywają ważną rolę w procesie ich wytwarzania i przechowywania. Skutecznym narzędziem określania tych właściwości jest wyznaczenie izoterm sorpcji wody, a następnie ich analiza [19]. Dzięki wyznaczonym izotermom można określić wrażliwość produktu na wilgoć oraz stopień chłonięcia lub oddawania przez niego wody, a także przewidzieć zmiany jakie mogą zajść w materiale w trakcie jego przechowywania [25].

Przebieg izoterm większości produktów żywnościowych, w tym przypraw, charakteryzuje się pętlą histerezy. Zjawisko

histerezy polega na tym, że otrzymuje się dwie różne izotermy w zależności od tego czy ciśnienie w układzie wzrasta (izoterma adsorpcji), czy maleje (izoterma desorpcji). Wielkość pętli, jej kształt, punkt początkowy i końcowy pętli mogą się znacznie różnić w zależności od rodzaju żywności, temperatury, szybkości i stopnia odwodnienia [9]. W literaturze znajduje się wiele pozycji dotyczących izoterm adsorpcji wody przypraw i ich analizy, natomiast materiał dotyczący izoterm desorpcji wody jest bardzo skromny.

**Celem pracy zaprezentowanej w artykule było wyznaczenie izoterm adsorpcji i desorpcji wody dla wybranych przypraw spożywczych w temperaturze 25°C. Zakres pracy obejmował określenie wpływu rodzaju przyprawy na przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody oraz próbę ich matematycznego opisu. Wyznaczona została również zawartość wody w monowarstwie badanych przypraw, otrzymana na drodze adsorpcji i desorpcji.**

### METODYKA BADAŃ

#### 1. Materiał badawczy

Do badań użyto 8 różnych przypraw mielonych firmy Kotanyi: kminek, imbir, gałkę muszkatołową, pieprz czarny, paprykę słodką, kardamon, kurkumę i cynamon.

#### 2. Metody analityczne

##### 2.1. Oznaczenie zawartości wody

Zawartość wody w przyprawach oznaczono metodą suszenia pod obniżonym ciśnieniem w suszarce Horyzont Spt-200. Próbkę materiału suszono w temperaturze 70 ±1°C, pod ciśnieniem 0,096 MPa, przez 48 godzin [2].

##### 2.2. Oznaczenie aktywności wody

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

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

Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wyznaczono metodą statyczno-eksykatorową [23], stosując nasycony roztwór KOH i nasycone roztwory soli jako czynniki higrostatyczne (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>) [10, 14, 22], w zakresie aktywności wody od 0,082 do 0,903 w temperaturze 25°C. W przypadku procesu adsorpcji, próbki przypraw (ok. 1 g) dosuszone w temperaturze 70°C, pod ciśnieniem 0,096 MPa w ciągu 48 godzin, umieszczono w higrostatkach i przetrzymywano w nich przez 3 miesiące. W przypadku procesu desorpcji, przyprawy początkowo nawilżano przez 14 dni w temperaturze 25°C w eksykatorze z wodą destylowaną (aw = 1,0) do uzyskania aktywności wody materiału powyżej 0,9. Następnie nawilżone próbki przypraw (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 izotermy adsorpcji i desorpcji wody badanych przypraw i przeprowadzono ich analizę.

### 3. Metody obliczeniowe

Do opisu izoterm adsorpcji i desorpcji wody badanych przypraw zastosowano następujące modele: Oswina [18], BET [7]; GAB [6], Lewickiego [16] i Pelega [20]. Przydatność modeli do opisu uzyskanych izoterm została oceniona na podstawie współczynnika determinacji (r<sup>2</sup>) i średniego błędę kwadratowego (RMS) wyrażonego w % [16].

## OMÓWIENIE I Dyskusja Wyników

### 1. Charakterystyka badanych przypraw

W tabeli 1 przedstawiono średnią zawartość wody i aktywność wody w badanych przyprawach. Stwierdzono, że najwyższą zawartością wody charakteryzował się pieprz czarny (11,88%) oraz kardamon (11,20%). Natomiast najniższą zawartość wody posiadała papryka czerwona (7,42%). Z kolei, najwyższą aktywnością wody charakteryzowały się pieprz czarny (0,577) oraz cynamon (0,538), a najniższą kurkuma (0,364) i kardamon (0,372). Otrzymane wyniki wskazały na brak prostej zależności (poza pieprzem czarnym) między zawartością wody przyprawy a jej aktywnością wody [9].

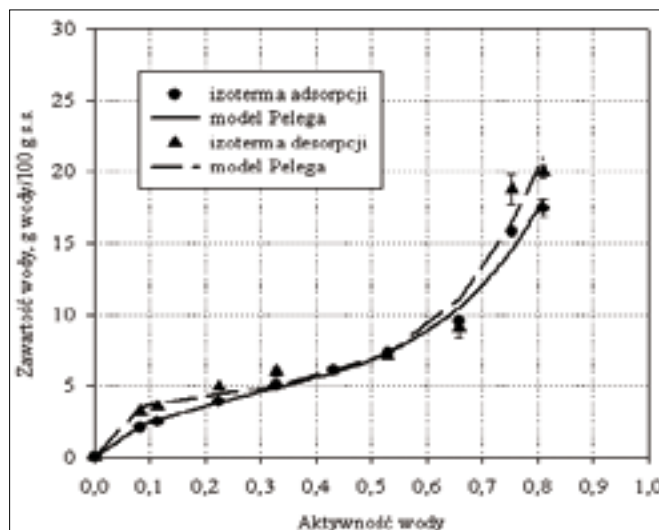
**Tabela 1.** Zawartość wody i aktywność wody w badanych przyprawach

Przyprawa	Zawartość wody [%]	Aktywność wody
Kminek	8,22 ± 0,08	0,391 ± 0,007
Imbir	10,59 ± 0,04	0,505 ± 0,004
Gałka muszkatołowa	10,13 ± 0,09	0,423 ± 0,014
Pieprz czarny	11,88 ± 0,02	0,577 ± 0,003
Papryka słodka	7,42 ± 0,06	0,521 ± 0,005
Kardamon	11,20 ± 0,04	0,372 ± 0,003
Kurkuma	9,73 ± 0,05	0,364 ± 0,021
Cynamon	10,29 ± 0,04	0,538 ± 0,005

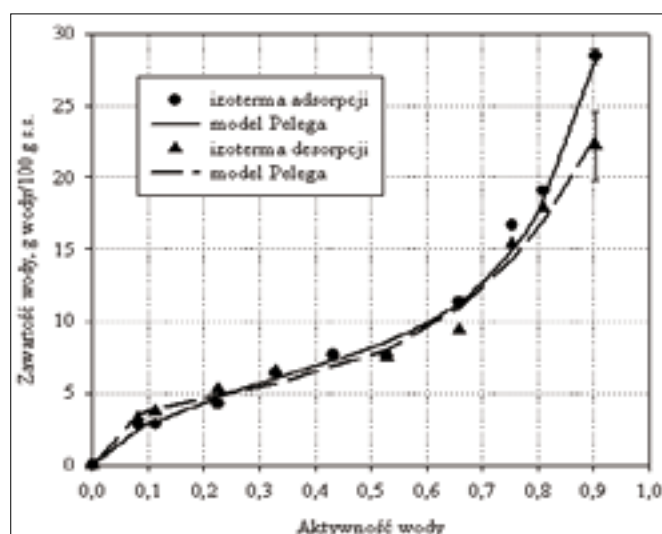
Źródło: Badania własne.

### 2. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody

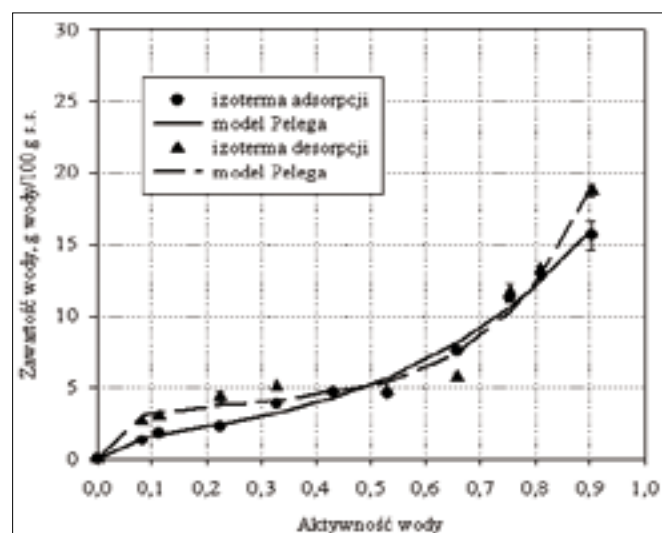
Na rysunkach 1-8 przedstawiono przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody badanych przypraw. Praktycznie wszystkie izotermy adsorpcji i desorpcji wody posiadały kształt sigmoidalny, odpowiadający II typowi izoterm w klasyfikacji Brunauera i współl. [8].



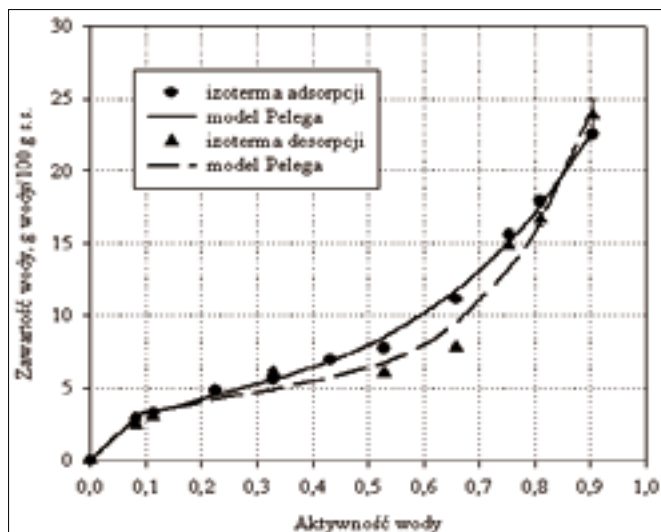
**Rys. 1.** Izotermy adsorpcji i desorpcji wody kminku mielonego.



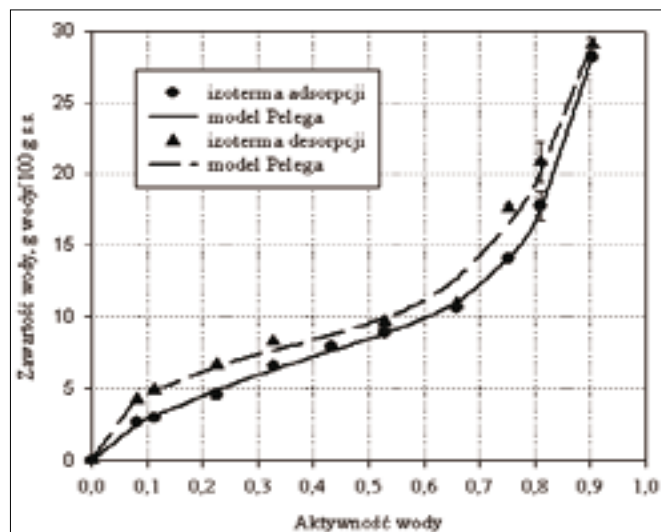
**Rys. 2.** Izotermy adsorpcji i desorpcji wody imbiru mielonego.



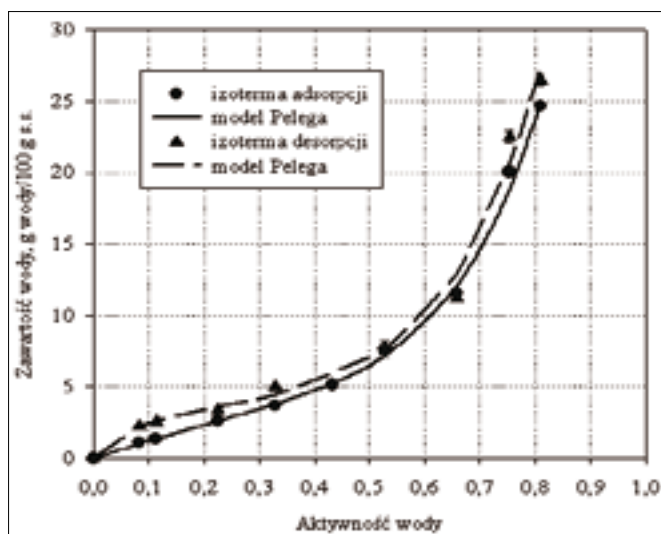
**Rys. 3.** Izotermy adsorpcji i desorpcji wody gałki muszkatołowej mielonej.



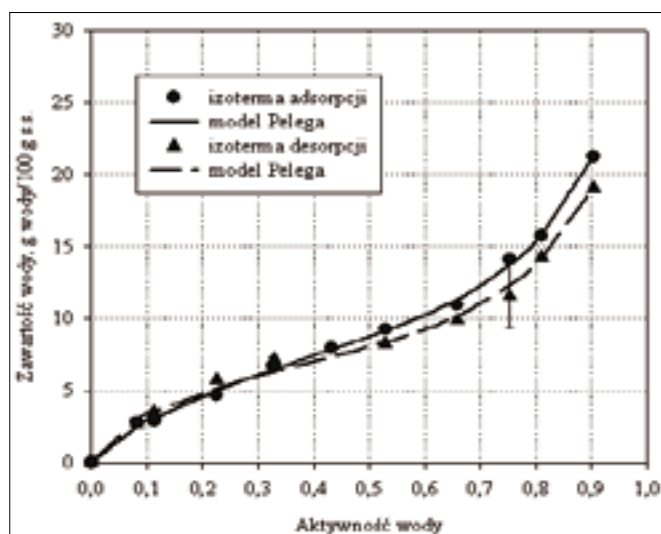
Rys. 4. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody pieprzu czarnego mielonego.



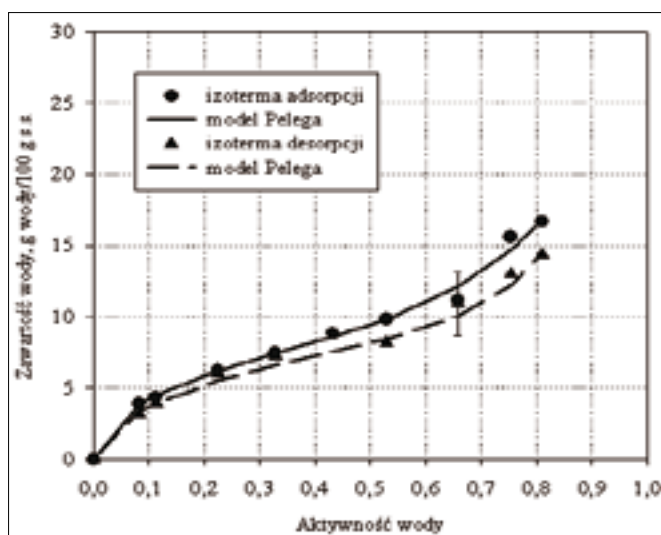
Rys. 7. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody kurkumy mielonej.



Rys. 5. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody papryki słodkiej mielonej.



Rys. 8. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody cynamonu mielonego.



Rys. 6. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody kardamonu mielonego.

Przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody wykazał histerezę, przy czym jej kształt był zróżnicowany i wynikał z rodzaju badanej przyprawy. Typowy kształt pętli histerezy, kiedy równowagowa zawartość wody dla poszczególnych poziomów aktywności wody była wyższa w przypadku krzywych desorpcji, stwierdzono dla kminku (rys. 1), papryki słodkiej (rys. 5) oraz kurkumy (rys. 7). Natomiast w przypadku kardamonu (rys. 6) stwierdzono zależność odwrotną; izoterma adsorpcji w całym badanym zakresie aktywności wody, przebiegała powyżej izotermy desorpcji. W przypadku imbiru (rys. 2) i cynamonu (rys. 8) izotermy desorpcji w stosunku do izoterm adsorpcji przebiegały powyżej, przy niskim poziomie aktywności wody, a po przekroczeniu wartości aktywności wody ok. 0,3 stwierdzono przebieg odwrotny. Z kolei dla gałki muszkatołowej (rys. 3) i pieprzu czarnego (rys. 4) przebieg izoterm adsorpcji i desorpcji wody był bardziej złożony, a izotermy adsorpcji przecinały się z izotermami desorpcji przy określonych wartościach aktywności wody. Na tak zróżnicowany kształt pętli histerezy prawdopodobnie miało wpływ wiele czynników, m.in. zróżnicowany

skład chemiczny i struktura badanych przypraw, czas przechowywania, pochodzenie materiałów odzwierciedlające ich możliwości do przebiegu zmian konfirmacyjnych, decydujących o dostępności efektywnych energetycznie miejsc polarnych oraz sposób przygotowania próbek do badania procesu adsorpcji i desorpcji wody [1, 5]. Typowy kształt pętli histerezy dla papryki czerwonej i zielonej otrzymali Kajmak-Ertekin i Sultanoğlu [12], a dla papryki Chilli, Kaleemullah i Kailappan [13].

W przypadku izoterm adsorpcji najbardziej higroskopijną przyprawą okazał się kardamon (rys. 6), a najmniej higroskopijną gałka muszkatowa (rys. 3). Charakterystycznym jest fakt, że w przypadku imbiru (rys. 2), papryki słodkiej (rys. 5), i kurkumy (rys. 7), po przekroczeniu aktywności wody ok. 0,65, izotermy adsorpcji gwałtownie odchyłały się do góry, co prawdopodobnie świadczyło o rozpoczęciu procesu

pęcznienia i rozpuszczania węglowodanów. W przypadku izoterm desorpcji wody, materiałem najlepiej oddającym wodę okazała się papryka słodka (rys. 5), a materiałem najtrudniej oddającym wodę gałka muszkatowa (rys. 3). Gałka muszkatowa, posiadająca w swoim składzie dużą zawartość tłuszczów, najgorzej chłonęła i oddawała wodę.

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

Do opisu izoterm adsorpcji i desorpcji wody przypraw wykorzystano 5 modeli: 2 modele dwuparametrowe (Oswina i BET), 2 modele trójparametrowe (GAB i Lewickiego) oraz model czteroparametrowy (Pelega). W tabelach 2 i 3 zestawiono obliczone parametry dla 8 przypraw w zastosowanych modelach izoterm adsorpcji i desorpcji oraz pokazano zgodność dopasowania tych modeli, wyrażoną przez

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

Model (parametry)	Przyprawy – proces adsorpcji							
	Kminek*	Imbir	Gałka muszkatowa	Pieprz czarny	Papryka słodka*	Kardanom*	Kurkuma	Cynamon
<b>Oswin</b>								
h	7,495	8,307	5,322	8,126	6,830	9,632	8,582	8,530
z	0,567	0,545	0,511	0,458	0,889	0,367	0,530	0,417
r <sup>2</sup>	0,9802	0,9850	0,9621	0,9803	0,9956	0,9924	0,9914	0,9956
RMS, %	8,17	10,84	14,21	7,28	12,62	4,67	7,54	9,42
<b>BET**</b>								
u <sub>m</sub>	3,945	4,997	3,240	4,227	4,015	5,436	5,229	5,263
C	10,784	9,147	6,684	18,399	3,452	21,844	8,515	8,701
r <sup>2</sup>	0,9970	0,9847	0,9772	0,9944	0,9986	0,9953	0,9922	0,9903
RMS, %	3,40	6,22	10,73	4,27	4,25	3,09	5,82	6,77
<b>GAB</b>								
u <sub>m</sub>	4,032	4,709	3,767	4,903	1,974	6,012	4,320	5,792
C	10,414	12,991	5,981	13,681	5,070	22,500	15,378	10,409
k	0,966	0,925	0,866	0,870	1,009	0,803	0,939	0,814
r <sup>2</sup>	0,9862	0,9857	0,9752	0,9863	0,9957	0,9901	0,9940	0,9966
RMS, %	5,45	9,38	12,38	6,23	10,52	4,72	8,42	6,09
<b>Lewicki</b>								
F	6,956	9,384	7,719	10,683	12,121	13,675	8,894	14,135
G	0,660	0,469	0,418	0,414	0,640	0,338	0,557	0,301
H	0,412	0,540	0,755	0,494	8,413	0,409	0,433	0,672
r <sup>2</sup>	0,9825	0,9861	0,9664	0,9776	0,9519	0,9898	0,9954	0,9977
RMS, %	6,28	9,06	12,85	7,15	17,38	4,75	7,23	5,28
<b>Peleg</b>								
A	8,816	33,920	4,445	8,078	53,809	12,258	39,052	13,871
B	0,557	7,012	0,442	0,408	5,665	0,457	8,906	0,686
D	29,873	12,365	16,152	21,303	10,390	16,682	13,362	17,059
E	5,115	0,649	3,081	3,499	0,928	5,101	0,673	7,040
r <sup>2</sup>	0,9887	0,9848	0,9853	0,9967	0,9971	0,9945	0,9990	0,9980
RMS, %	5,44	9,45	11,14	4,95	4,92	4,10	4,82	5,39

\* zakres aw 0,0-0,810

\*\* zakres aw 0,0-0,432



współczynnik determinacji ( $r^2$ ) oraz średni błąd kwadratowy (RMS). Przyjmując wartość średniego błędu kwadratowego na poziomie niższym od 10%, jako dobrą zgodność dopasowania modelu do danych sorpcyjnych w całym badanym zakresie aktywności wody, należy stwierdzić, że praktycznie założenia tego nie spełnił żaden z testowanych modeli dla wszystkich przypraw. Tym niemniej, można zauważyć, że model Pelega, a następnie model GAB, najlepiej opisywały dane doświadczalne zarówno procesu adsorpcji jak i desorpcji wody. Wartości średniego błędu kwadratowego (RMS) dla opisu izoterm adsorpcji i desorpcji wody modelem Pelega, zawierały się w granicach od 4,1% dla kardamonu (adsorpcja) do 14,4% dla gałki muszkatołowej (desorpcja). Graficzne dopasowanie danych uzyskanych z modelu Pelega do izoterm adsorpcji i desorpcji wody przypraw przedstawiono na rysunkach 1-8.

Lomauro i współ. [17] wykazali, że model GAB najlepiej opisywał izotermy sorpcji dla przypraw spożywczych (pieprz czarny, cynamon, kardamon, imbir, gałka muszkatołowa), a Arslan i Toğrul [3] podali, że model Pelega okazał się najlepszy do opisu danych sorpcyjnych mielonej papryki Chilli.

Modele BET i GAB pozwalają wyznaczyć zawartość wody w monowarstwie i są uznawane za najbardziej przydatne do przewidywania optymalnych warunków przechowywania oraz stabilności przechowalniczej żywności, szczególnie żywności odwodnionej [4]. W przypadku badanych przypraw model BET dawał najniższe wartości RMS (tab. 2 i 3) w zakresie aktywności wody dla adsorpcji 0,0-0,432 i dla desorpcji 0,0-0,328, tym samym najlepiej opisywał dane równowagi wilgotnościowej w tych zakresach aktywności wody.

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

Model (parametry)	Przyprawy – proces desorpcji							
	Kminek*	Imbir	Gałka muszkatołowa	Pieprz czarny	Papryka słodka*	Kardamon*	Kurkuma	Cynamon
<b>Oswin</b>								
h	8,491	8,485	6,479	7,352	8,300	8,408	10,238	8,137
z	0,595	0,455	0,453	0,530	0,756	0,372	0,462	0,382
$r^2$	0,9441	0,9659	0,9424	0,9667	0,9687	0,9849	0,9777	0,9923
RMS, %	19,24	11,30	24,10	18,09	19,04	7,27	13,48	8,30
<b>BET**</b>								
$u_m$	4,434	4,939	3,800	5,009	3,793	5,866	6,147	6,113
C	21,277	15,974	20,215	9,396	11,357	11,460	18,882	8,171
$r^2$	0,9946	0,9990	0,9905	0,9978	0,9806	0,9969	0,9990	0,9979
RMS, %	3,10	1,20	3,93	2,20	6,34	2,60	1,41	1,98
<b>GAB</b>								
$u_m$	3,918	4,864	3,065	4,118	3,436	7,192	5,518	4,964
C	36,010	19,000	74,685	16,000	13,900	13,343	31,379	17,150
k	1,006	0,877	0,930	0,912	1,075	0,650	0,900	0,823
$r^2$	0,9622	0,9719	0,9641	0,9698	0,9675	0,976	0,9865	0,9903
RMS, %	10,70	9,17	16,89	13,58	8,07	7,56	8,22	7,85
<b>Lewicki</b>								
F	6,114	10,900	5,894	7,500	4,458	12,002	11,153	12,598
G	0,823	0,417	0,568	0,573	1,143	0,327	0,493	0,303
H	0,065	0,439	0,090	0,316	0,167	0,400	0,231	0,534
$r^2$	0,9619	0,9662	0,9606	0,9696	0,9830	0,9853	0,9843	0,9918
RMS, %	11,96	9,97	17,35	14,11	7,48	7,88	8,47	7,13
<b>Peleg</b>								
A	42,503	23,285	23,991	29,365	62,884	11,241	12,011	16,154
B	4,900	4,132	5,167	5,125	5,218	0,478	0,408	6,620
D	6,170	7,741	5,036	7,015	6,962	21,625	32,899	11,460
E	0,227	0,317	0,200	0,341	0,448	7,702	6,103	0,538
$r^2$	0,9696	0,9790	0,9755	0,9813	0,9883	0,9903	0,9903	0,9948
RMS, %	10,70	8,99	14,40	12,72	7,54	5,64	6,18	7,54

\* zakres aw 0,0-0,810

\*\* zakres aw 0,0-0,328

Generalnie dla procesu adsorpcji wartości pojemności monowarstwy ( $u_m$ ) uzyskane z modelu GAB były wyższe od wartości z modelu BET z wyjątkiem imbiru, papryki słodkiej i kurkumy. Natomiast dla procesu desorpcji, z wyjątkiem kardamonu, pojemności monowarstwy uzyskane z modelu GAB były niższe od wartości z modelu BET. Porównując uzyskane pojemności monowarstwy z modelu BET dla procesów adsorpcji i desorpcji stwierdzono, że dla imbiru i papryki słodkiej wartości uzyskane w procesie desorpcji były niższe niż w procesie adsorpcji, a dla pozostałych przypraw wyższe. Biorąc pod uwagę model GAB, wyższą pojemnością monowarstwy przy desorpcji niż adsorpcji wykazały się imbir, papryka słodka, kardamon i kurkuma.

Uzyskane wartości pojemności monowarstwy zarówno z modeli BET i GAB wskazały, że najbardziej jednorodnymi przyprawami były kminek, pieprz czarny i gałka muszkatołowa.

Wartości stałych C (model BET) oraz C i k (model GAB) (tab. 2 i 3) praktycznie potwierdziły poprawność sigmoidalnego kształtu (izoterma II typu) izoterm adsorpcji i desorpcji wody przypraw. Według Lewickiego [15], wartość stałej k powinna się mieścić w zakresie  $0,24 < k \leq 1$ , a utrzymanie błędu obliczenia zawartości wody w monowarstwie na poziomie  $\pm 15,5\%$  wymaga wartości stałej C większej niż 5,5.

## WNIOSKI

1. Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wszystkich badanych przypraw wykazały II typ izoterm wg klasyfikacji Brunauera i współ. [8].

2. Zjawisko histerezy było widoczne dla każdej przyprawy, przy czym otrzymane pętle histerezy były zróżnicowane w zależności od rodzaju przyprawy. Klasyczną pętlą histerezy charakteryzowały się jedynie kminek, papryka słodka i kurkuma.

3. Modele Pelega i GAB okazały się najlepszymi modelami do opisu izoterm adsorpcji i desorpcji wody wszystkich przypraw w całym badanym zakresie aktywności wody.

4. Model BET najlepiej opisywał dane równowagi wilgotnościowej badanych przypraw w zakresie aktywności wody 0,0-0,432 dla adsorpcji i 0,0-0,328 dla desorpcji.

5. Wartości pojemności monowarstwy w procesie adsorpcji wyznaczone z modelu GAB były wyższe od wartości wyznaczonych z modelu BET dla większości przypraw. Natomiast dla procesu desorpcji stwierdzono zależność odwrotną.

6. Przedstawiona w pracy graficzna i analityczna postać izoterm adsorpcji i desorpcji wody przypraw pozwoli prawidłowo dobrać warunki przechowywania decydujące o ich stabilności fizycznej, chemicznej i biologicznej.

## LITERATURA

[1] AL-MUHTASEB A.H., MCMINN W.A.M., MAGEE T.R.A. 2004. *Water sorption isotherms of starch powders. Part I. Mathematical description of experimental data.* Journal of Food Engineering, 61, 297-307.

[2] AOAC 1996. *Official methods of analysis.* Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.

[3] ARSLAN N., TOĞRUL H. 2005. *Moisture sorption isotherms for crushed Chillies.* Biosystems Engineering, 90(1), 47-61.

[4] ARSLAN N., TOĞRUL H. 2005. *Modelling of water sorption isotherms of macaroni stored in chamber under controlled humidity and thermodynamic approach.* Journal of Food Engineering, 69, 133-145.

[5] 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.

[6] BIZOT H. 1983. *Using the „G.A.B.” model to construct sorption isotherms.* In: Physical Properties of Foods (eds. R. Jowitt, F. Escher, B. Hällström, H.F.T. Meffert, W.E.L. Spiess, G. Vos), Applied Science Publishers, New York, 43-54.

[7] BRUNAUER S., EMMETT P.H., TELLER E. 1938. *Adsorption of gases in multilayers.* Journal of the American Chemical Society, 60, 309-319.

[8] BRUNAUER S., DEMING L.S., DEMING W.E., TELLER E. 1940. *On a theory of the van der Waals adsorption of gases.* Journal of the American Chemical Society, 62, 1723-1732.

[9] CYBULSKA E.B. 2002. *Woda jako składnik żywności.* W: Chemia żywności. Skład, przemiany i właściwości żywności (red. Z.E. Sikorski), Warszawa, WNT, 55-87.

[10] GREENSPAN L. 1977. *Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions.* Journal of Research of the National Bureau of Standards – A. Physics and Chemistry, 1977, 81A, 89-96.

[11] HLAVA B., LÁNSKÁ D. 1983. *Rośliny przyprawowe.* Warszawa, PWRiL.

[12] KAYMAK-ERTEKIN F., SULTANOĞLU M. 2001. *Moisture sorption isotherm characteristics of peppers.* Journal of Food Engineering, 47(3), 225-231.

[13] KALEMULLAH S., KAILAPPAN R. 2004. *Moisture sorption isotherms of Red Chillies.* Biosystems Engineering, 88(1), 95-104.

[14] 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, 1985, 50(2), 385-391.

[15] 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.

[16] LEWICKI P.P. 1998. *A three parameter equation for food moisture sorption isotherms.* Journal of Food Process Engineering, 21, 127-144.

[17] LOMAURO C.J., BAKSHI A.S., LABUZA T.P. 1985. *Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part II: Milk, coffee, tea, nuts, oilseeds, spices and starchy foods.* Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 18, 118-124.

[18] OSWIN C.R. 1946. *The kinetics of package life. III. The isotherm.* Journal of Chemical Industry (London), 65, 419-423.

[19] PAŁACHA Z. 2007. *Badanie stanu wody w matrycy modelowej I uzyskanej z jabłek z wykorzystaniem metody*

*opartej na izotermach sorpcji oraz kalorymetrycznej.* Warszawa, Wyd. SGGW, 2007, 1-84.

- [20] 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.
- [21] PETER K.V. 2006. *Handbook of Herbs and Spices.* Woodhead Publishing Ltd, Abington Hall, Abington, Cambridge, England.
- [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., 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. Hällström, H.F.T. Meffert, W.E.L. Spiess, G. Vos), Elsevier Applied Science Publishers, London, 65-87.
- [24] STELMACH W. 2006. *Używki i przyprawy ziołowe.* Poradnik Aptekarski, Warszawa.
- [25] ŚWITKA J., KRASOWSKI Z. 1990. *Zastosowanie izoterm sorpcji wody w technologii żywności.* Przemysł Spożywczy, 44(4-5), 105-107.

## WATER ADSORPTION AND DESORPTION ISOTHERMS OF SELECTED SPICES

### SUMMARY

*In the paper water adsorption and desorption isotherms of powdered spices (cumin, ginger, nutmeg, black pepper, sweet paprika, cardamon turmeric and cinnamon) were determined at 25°C over a range of water activity from 0,082 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 her shape was diversified for each spice. The classical hysteresis loop characterized only cumin, sweet paprika and turmeric. The Peleg and GAB models gave the best fit to the experimental adsorption and desorption data for all material tested.*