

Dr hab. inż. Zbigniew PAŁACHA
Mgr inż. Katarzyna KĘDZIERSKA
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, SGGW w Warszawie

WŁAŚCIWOŚCI SORPCYJNE WYBRANYCH DODATKÓW PRZYPRAWOWYCH DO ŻYWNOŚCI POCHODZENIA ZWIERZĘCEGO®

W artykule określono właściwości sorpcyjne wybranych dodatków przyprawowych do żywności pochodzenia zwierzęcego. Analizowane dodatki przyprawowe do żywności charakteryzowały się zróżnicowaną zdolnością adsorpcji wody. W przedziale aktywności wody 0,075÷0,903 występowały wyraźne różnice w przebiegu izoterm i krzywych kinetyki adsorpcji wody. Izoterm adsorpcji wody dodatków przyprawowych do żywności pochodzenia zwierzęcego miały przebieg zgodny z przebiegiem izoterm typu II i III według klasyfikacji Brunauera i współpracowników. Wyniki pomiarów zostały zobrazowane odpowiednimi wykresami i opisane wybranymi modelami sorpcji.

WSTĘP

W ostatnich latach w celu zaspokojenia wymagań oraz oczekiwań konsumentów w stosunku do produktów żywnościowych [9, 23, 24] bardzo rozpowszechnione stało się stosowanie dodatków do żywności. W produkcji żywności pochodzenia zwierzęcego, w czasie przetwarzania i utrwalania surowców często stosowane są substancje nazywane dodatkami do żywności. Są one dodawane głównie w celu przedłużenia trwałości przechowalniczej, modyfikacji struktury, konsystencji, cech sensorycznych oraz polepszenia wartości odżywczej gotowych wyrobów. Producenci stosują je w celu ułatwienia przebiegu procesów produkcyjnych, zmniejszenia kosztów wytwarzania oraz kształtowania konkurencyjności wyrobów na rynku [8, 9, 11, 12, 21, 23, 25, 26, 31]. Dodatki do żywności pochodzenia zwierzęcego są często niezbędne ze względów technologicznych, organoleptycznych oraz higienicznych, mogą również wspomagać działanie innych substancji dodatkowych [5, 6, 7, 23, 24].

Właściwości sorpcyjne żywności znalazły szerokie zastosowanie w różnych obszarach technologii. Najlepszym narzędziem określenia właściwości sorpcyjnych jest wyznaczenie izoterm sorpcji wody, a następnie jej analiza [17]. W celu wyznaczenia izoterm sorpcji wymagana jest znajomość aktywności wody i jej zawartości w materiale. Dysponując izotermami sorpcji można badać właściwości termodynamiczne procesu sorpcji wody oraz określać strukturę produktów spożywczych. Izoterm umożliwiają również określenie optymalnej zawartości wody w materiale. Dzięki wyznaczonym izotermom sorpcji można określić wrażliwość produktu na wilgoć oraz stopień chłonięcia przez niego wody, a także przewidzieć zmiany jakie mogą zajść w materiale w trakcie jego przechowywania [3, 27, 28].

Do pełnej oceny właściwości sorpcyjnych żywności, oprócz wyznaczenia izoterm sorpcji wody charakteryzujących stan równowagi wilgotnościowej, niezbędne jest uzyskanie danych opisujących kinetykę procesu sorpcji wody, czyli dochodzenia do stanu równowagi wilgotnościowej między materiałem, a otaczającym go środowiskiem [19]. Literatura podaje wiele przykładów prac opisujących kinetykę adsorpcji wody na wybranych produktach spożywczych, brak jest jed-

nak danych dotyczących dodatków przyprawowych stosowanych do żywności pochodzenia zwierzęcego.

Celem pracy zaprezentowanej w artykule było określenie właściwości sorpcyjnych wybranych dodatków przyprawowych do żywności pochodzenia zwierzęcego. Zakres pracy obejmował określenie kinetyki adsorpcji wody przez wybrane dodatki przyprawowe do żywności pochodzenia zwierzęcego. Wyznaczone zostały również izoterm adsorpcji wody tych materiałów oraz podjęto próbę ich matematycznego opisu.

METODYKA BADAŃ

Do badań użyto 10 dodatków przyprawowych do żywności pochodzenia zwierzęcego firmy Sovit. W tabeli 1 przedstawiono skład chemiczny badanych dodatków przyprawowych (dane z firmy Sovit).

1. Metody analityczne

W badanych materiałach oznaczono zawartość wody, aktywność wody, określono kinetykę procesu adsorpcji wody oraz wyznaczono izoterm adsorpcji wody.

Oznaczenie zawartości wody

Oznaczenie zawartości wody w badanych dodatkach przyprawowych przeprowadzono metodą suszenia pod obniżonym ciśnieniem w suszarce Horyzont Spt – 200. Próbkę materiału suszono w temperaturze $70^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, pod obniżonym ciśnieniem, przez 24 godziny. Pomiar wykonano w 2 powtórzeniach.

Oznaczenie aktywności wody

Aktywność wody zmierzono za pomocą miernika aktywności wody Rotronic Hygroskop DT. Pomiar przeprowadzono w 2 powtórzeniach.

Określenie kinetyki procesu adsorpcji wody

Kinetykę adsorpcji wody oznaczono na wadze analitycznej Mettler AE 240. Pomiar wykonano przy czterech poziomach aktywności wody środowiska (0,328, 0,529, 0,753 i 0,903) w temperaturze 25°C w czasie 48 godzin. Wstępnie wysuszone próbki materiału (temperatura suszenia 70°C , ciśnienie 270 Pa,

czas 24 godziny) o masie ok. 1g odważone z dokładnością $\pm 0,0001g$, umieszczono w środowisku o określonej aktywności wody, a następnie określono zmianę ich masy podczas procesu adsorpcji w następujących odstępach czasowych: po 0,25, 0,5, 1,3, 6,24 i 48 godzinach. Dla każdego dodatku przygotowawczego, przy danej wilgotności względnej środowiska, pomiary wykonano w 2 powtórzeniach.

Wyznaczenie izoterm adsorpcji wody

Izoterm adsorpcji wody określono metodą statyczno-eksykatorową [30], stosując nasycony roztwór NaOH i nasycone roztwory soli jako czynniki higrostatyczne, w zakresie aktywności wody od 0,075 do 0,903 w temperaturze 25°C. Materiał (ok.1g) dosuszony w temperaturze 70°C, pod ciśnieniem 270 Pa w ciągu 24 godzin, umieszczono w higrostaty i przetrzymywano w nich przez 3 miesiące. Następnie wyznaczono izoterm adsorpcji wody dla badanych materiałów i przeprowadzono ich analizę.

2. Metody obliczeniowe

Do opisu izoterm adsorpcji wody badanych materiałów zastosowano następujące modele: BET [1], GAB [29], Lewickiego [14], Pelega [20], Oswina [15], Halseya [10] oraz Freundlicha [32].

Tabela 1. Skład chemiczny dodatków przyprawowych stosowanych do żywności pochodzenia zwierzęcego (dane producenta)

Lp.	Nazwa składnika	Kod identyfikacyjny składnika dodatku	Udział składnika [%]
I Dodatek A			
1	Chlorek sodu (NaCl)	-	49,0
2	Przyprawy naturalne	-	41,0
3	Glutaminian sodu	E 621	5,0
4	Ditlenek krzemu (antyzbrylacz)	E 551	3,0
5	Aromaty oleiste	-	2,0
II Dodatek B			
1	Karagen	E 407	98,0
2	Chlorek sodu (NaCl)	-	2,0
III Dodatek C			
1	Zelatyna spożywcza	E 441	51,0
2	Glukoza	-	13,0
3	Chlorek sodu (NaCl)	-	12,0
4	Glutaminian sodu	E 621	8,0
5	Maltodekstryna	-	7,0
6	Octan sodu	E 262	4,0
7	Przyprawy naturalne	-	3,0
8	Aromaty oleiste	-	2,0
IV Dodatek D			
1	Cytrynian trisodowy	E 331 (iii)	27,0
2	GDL (Lakton kwasu glukonowego)	E 575	21,0
3	Mleczan wapnia	E 327	20,0
4	Askorbinian sodu	E 301	12,0
5	Octan sodu bezwodny	E 262 (i)	10,0
6	Sorbinian potasu	E 202	4,0
7	Cytrynian jednosodowy	E 331 (i)	3,0
8	Ditlenek krzemu (antyzbrylacz)	E 551	3,0

Lp.	Nazwa składnika	Kod identyfikacyjny składnika dodatku	Udział składnika [%]
V Dodatek E			
1	Glutaminian sodu	E 621	40,0
2	Maltodekstryna		32,0
3	Chlorek sodu (NaCl)		15,0
4	Aromaty oleiste		5,0
5	Ekstrakt drożdżowy		5,0
6	Ditlenek krzemu (antyzbrylacz)		3,0
VI Dodatek F			
1	Koncentrat białka sojowego (zawartość białka 70%)		63,0
2	Mono- i di glicerydy kwasów tłuszczowych	E 471	11,0
3	Skrobia lub maltodekstryna	E 1422	9,5
4	Glukoza		8,5
5	Guma guar	E 412	8,0
VII Dodatek G			
1	Przyprawy naturalne		41,0
2	Glutaminian sodu	E 621	17,0
3	Maltodekstryna		16,0
4	Dekstroza		15,0
5	Chlorek sodu (NaCl)		5,0
6	Oleorezyny przypraw naturalnych		5,0
7	Ditlenek krzemu (antyzbrylacz)	E 551	1,0
VIII Dodatek H			
1	Tripolifosforan	E 451 (i)	45,0
2	Mono- i diglicerydy kwasów tłuszczowych	E 471	30,0
3	Glukoza		13,0
4	Cytrynian trisodowy	E 331 (iii)	10,0
5	Izoaskorbinian sodu	E 316	2,0
IX Dodatek I			
1	Tripolifosforan	E 451 (i)	42,0
2	Karagen	E 407	30,
3	Cytrynian trisodowy	E 331 (iii)	11,5
4	Glukoza		8,0
5	Askorbinian sodu	E 301	4,0
6	Glutaminian sodu	E 621	2,5
7	LBG (mączka chleba świętojańskiego)	E 410	2,0
X Dodatek J			
1	Izolat białka sojowego		31,5
2	Tripolifosforan	E 451 (i)	28,5
3	Karagen	E 407	19,0
4	Glukoza		10,5
5	Cytrynian trisodowy	E 331 (iii)	6,0
6	Glutaminian sodu	E 621	2,0
7	Askorbinian sodu	E 301	1,5
8	LBG (mączka chleba świętojańskiego)	E 410	1,0

Program Table Curie 2D (Jandel Scientific) użyto do dopasowania testowanych modeli do danych doświadczalnych. Przydatność modeli do opisu użytych izoterm została oceniona na podstawie średniego błędu kwadratowego (RMS) wyrażonego w %.

OMÓWIENIE I Dyskusja Wyników

1. Charakterystyka surowców

W tabeli 2 przedstawiono średnią zawartość wody i aktywność wody w badanych dodatkach przyprawowych do żywności pochodzenia zwierzęcego. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że najwyższą aktywnością wody charakteryzował się dodatek J, $a_w = 0,347$ (zawierający 28,5% tripolifosforanu) oraz dodatek A, $a_w = 0,338$ (zawierający 49,0% chlorku sodu). Natomiast najniższą aktywnością wody (0,212) odznaczał się dodatek E (zawierający 40,0% glutamianu sodu oraz 32,0% maltodekstryny) (tab.1). Najwyższą zawartość wody miał dodatek C (9,49%), zawierający duże ilości żelatyny spożywczej (51,0%), zaś dodatek E (1,84%). Otrzymane wyniki wskazały na brak prostej zależności między aktywnością danego dodatku przyprawowego a jego zawartością wody [22].

Tabela 2. Zawartość wody oraz aktywność wody w badanych dodatkach do żywności pochodzenia zwierzęcego

Rodzaj dodatku	Średnia zawartość wody [%]	Średnia aktywność wody
A	2,05	0,338
B	6,86	0,241
C	9,49	0,316
D	4,86	0,249
E	1,84	0,212
F	5,83	0,286
G	6,19	0,277
H	4,31	0,267
I	3,79	0,268
J	4,25	0,347

2. Kinetyka adsorpcji wody

Kinetykę adsorpcji wody przez dodatki przyprawowe do żywności pochodzenia zwierzęcego przedstawiono na rysunkach 1-6.

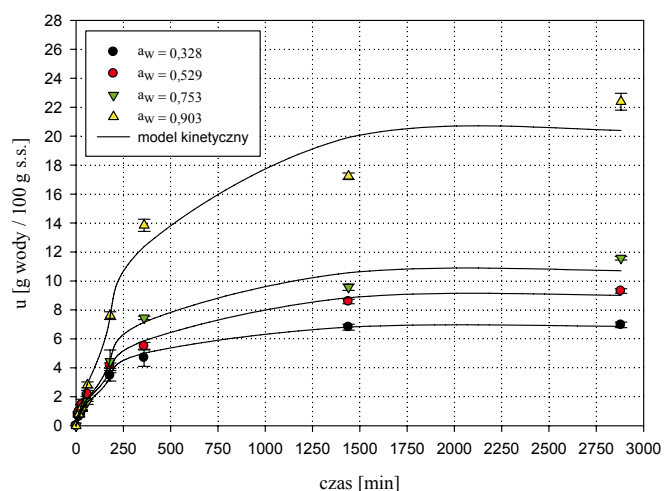
Dla wszystkich dodatków do żywności pochodzenia zwierzęcego wraz ze wzrostem aktywności wody wzrastała zawartość wody w materiale (rys. 1-6). Charakterystyczne, że w przedziale aktywności wody 0,328-0,753 różnice w przebiegu krzywych kinetycznych były nieznaczne. Natomiast wzrost aktywności wody środowiska do wartości 0,903 spowodował bardziej dynamiczny wzrost zawartości wody we wszystkich badanych dodatkach przyprawowych. Największy przyrost zawartości wody przy aktywności wody 0,903 zaobserwowano dla dodatku C, najmniejszy dla dodatku F (rys. 6).

Przy aktywności wody 0,328 (rys. 5) największą zdolność adsorpcji wody po 48 godzinach wykazywał dodatek B 6,964 [g H₂O/100 g s.s.], w którym największy udział stanowił karagen (98,0%). Najniższą wartość zdolności adsorpcji wody po 48 godzinach wykazywał dodatek A 1,498 [g H₂O/100 g s.s.] zawierający znaczne ilości chlorku sodu (49,0%) oraz przypraw naturalnych (41,0%).

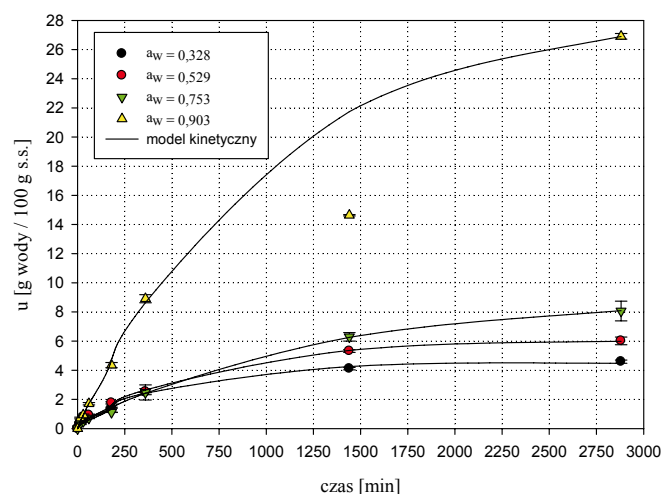
Podobnie przy aktywności wody 0,529 oraz 0,753 największą zdolność chłonięcia wody po 48 godzinach wykazywał

dodatek B 9,306 oraz 11,570 [g H₂O/100 g s.s.] i najmniejszą zdolność chłonięcia wody w tych środowiskach po 48 godzinach 2,206 oraz 3,082 [g H₂O/100 g s.s.] wykazał dodatek A.

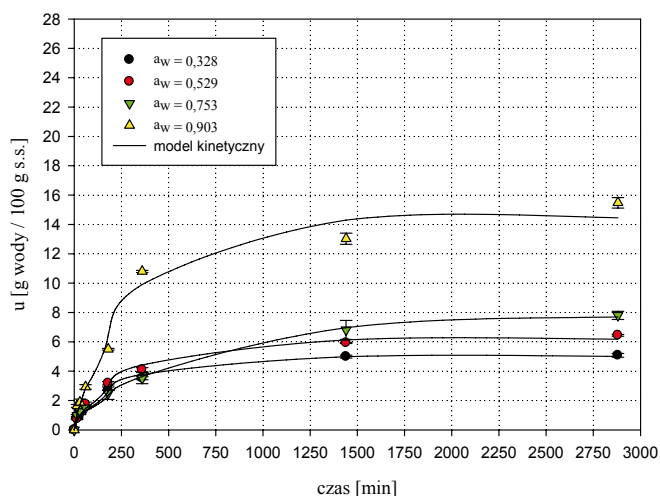
W środowisku o aktywności wody 0,903 (rys. 6) największą zdolność chłonięcia wody po 48 godzinach wykazał dodatek C 26,909 [g H₂O/100 g s.s.] (zawierający znaczne ilości żelatyny spożywczej (51,0%) oraz chlorku sodu (12,0%)) zaś najniższą dodatek przyprawowy F 15,475 [g H₂O/100 g s.s.], zawierający 63% koncentratu białka sojowego.



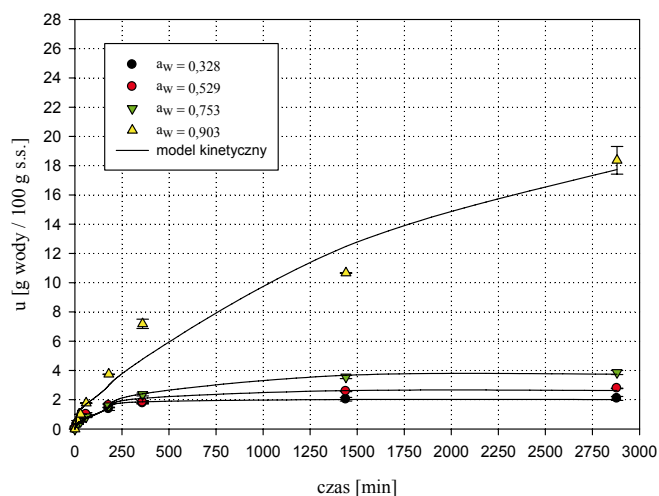
Rys. 1. Kinetyka adsorpcji wody dla dodatku B.



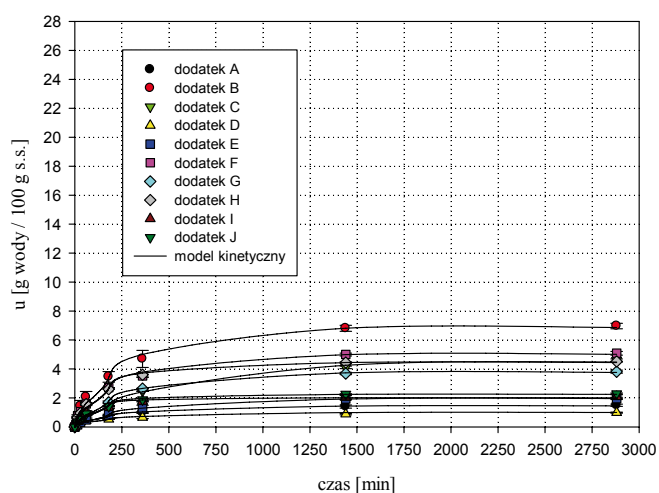
Rys. 2. Kinetyka adsorpcji wody dla dodatku C.



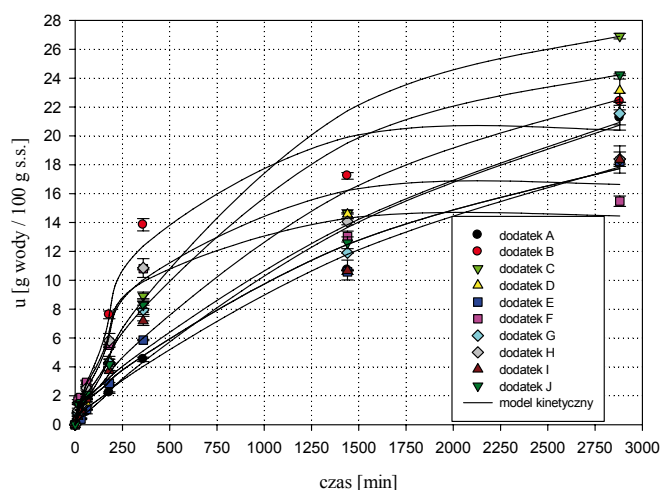
Rys. 3. Kinetyka adsorpcji wody dla dodatku F.



Rys. 4. Kinetyka adsorpcji wody dla dodatku I.



Rys. 5. Kinetyka adsorpcji wody badanych dodatków przy aktywności wody 0,328.



Rys. 6. Kinetyka adsorpcji wody badanych dodatków przy aktywności wody 0,903.

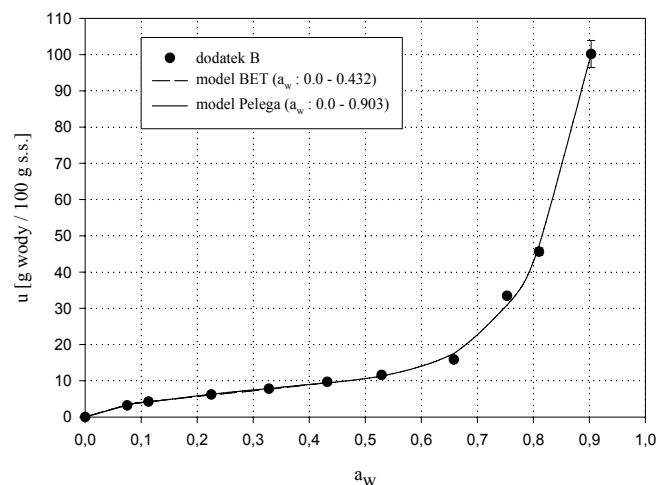
W środowisku o aktywności wody 0,753 wartości równowagowej zawartości wody dodatków przyprawowych były od 2,35 razy (dodatek F) do 14,12 razy (dodatek E) wyższe od średniej zawartości wody otrzymanej w próbkach przetrzymywanych przez 48 godziny w środowisku o tej samej aktyw-

ności wody. W środowisku o aktywności wody 0,903 wartości równowagowej zawartości wody były od 1,38 razy (dodatek A) do 13,21 razy (dodatek H) wyższe od średniej zawartości wody po 48 godzinach.

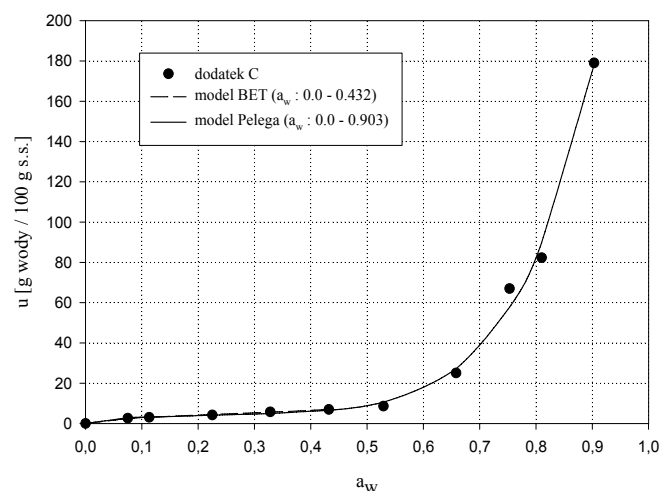
W środowisku o niskiej aktywności wody zachodził klasyczny proces adsorpcji wody na centrach aktywnych o zróżnicowanym potencjale energetycznym wynikającym ze zróżnicowanego składu chemicznego dodatków [16]. W środowisku o wyższej aktywności wody zachodziły procesy wynikające nie tylko z procesu adsorpcji pary wodnej na poziomie monowarstwy, ale również procesy pęcznienia i rozpuszczania wynikające ze wzmożonego ruchu cząsteczek wody [13]. Ponadto przy wyższym poziomie aktywności wody, czas odgrywał bardzo istotną rolę.

3. Izoterm adsorpcji wody

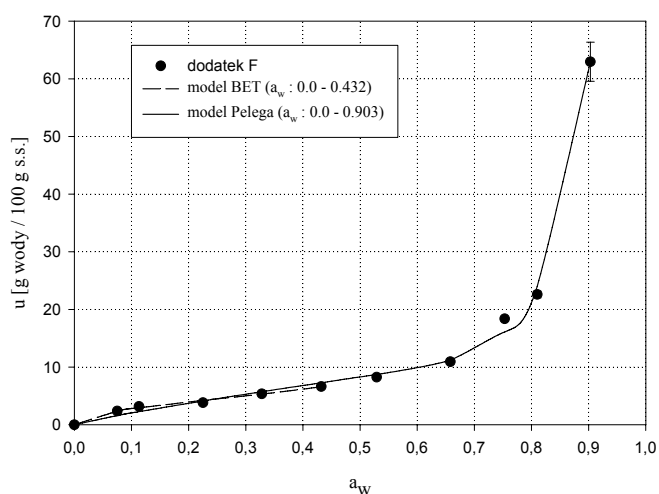
Na rysunkach 7-10 przedstawiono przykładowe izoterm dla czterech dodatków przyprawowych. Kształt izoterm adsorpcji wody badanych dodatków odpowiadał II i III typowi izoterm w klasyfikacji Brunauera i wsp. [2].



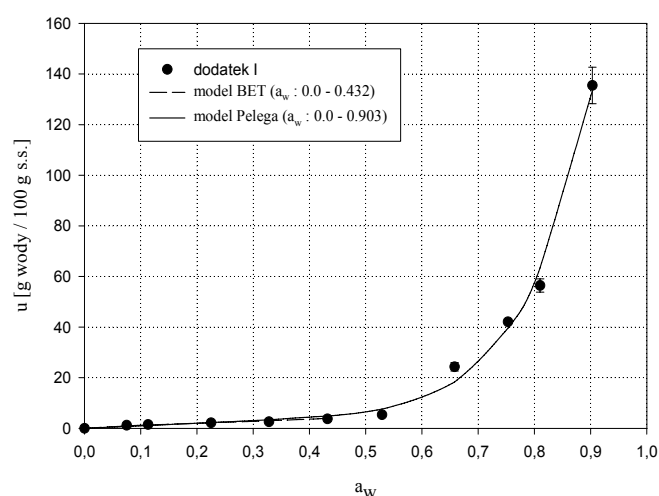
Rys. 7. Przebieg izoterm adsorpcji dla dodatku B.



Rys. 8. Przebieg izoterm adsorpcji dla dodatku C.



Rys. 9. Przebieg izoterm adsorpcji dla dodatku F.



Rys. 10. Przebieg izoterm adsorpcji dla dodatku I.

Większość izoterm posiadała płaski kształt przy niskich wartościach aktywności wody. Największe różnice między równowagowymi zawartościami wody zostały zaobserwowane przy wyższych aktywnościach wody środowiska, co mogło być spowodowane głównie procesem rozpuszczania substancji krystalicznych zawartych w analizowanych dodatkach [4].

W przedziale aktywności wody 0,075–0,529 różnice między średnimi równowagowymi zawartościami wody były nieznaczne, natomiast wzrost aktywności wody środowiska powyżej wartości 0,529 spowodował znaczny wzrost średniej równowagowej zawartości wody praktycznie dla wszystkich badanych dodatków przyprawowych.

W przypadku danych eksperymentalnych w zakresie aktywności wody 0,075–0,529 najwyższą równowagową zawartość wody stwierdzono dla dodatku B, zawierającego w swoim składzie 98,0% karagenu, hydrokolidu silnie wiążącego wodę [25]. Najniższą stwierdzono dla dodatku A zawierającego 49,0% chlorku sodu, substancji krystalicznej adsorbującej bardzo małe ilości wody przy niskiej aktywności wody środowiska.

Przy aktywności wody mieszczącej się w zakresie 0,529–0,753 występowało charakterystyczne przegięcie widoczne na izotermach. Wraz ze wzrostem aktywności wody znacznie wzrastała równowagowa zawartość wody w dodatkach przyprawowych (rys. 7–10).

Różnice w kształcie izoterm badanych dodatków przyprawowych spowodowane były zróżnicowaniem ich składu chemicznego. Dodatek A zawierał duże ilości chlorku sodu (49,0%) oraz przypraw naturalnych (41,0%), natomiast najwyższą położoną izotermą dotyczyła dodatku H, zawierającego w swym składzie znaczne ilości tripolifosforanu (45,0%), mono- i diglicerydów kwasów tłuszczowych (30,0%) oraz glukozy (13,0%).

W miarę wzrastania zawartości wody w próbkach, w badanych dodatkach zaobserwowano przemiany fizyczne tj. proces rozpuszczania substancji krystalicznych, pęcznienie oraz skutki reakcji nieenzymatycznego brązowienia.

Adsorpcja wody powoduje zerwanie części wiązań wodorowych i zwiększenia ruchliwości substancji krystalicznych [13]. Skutkiem sorpcji wilgoci przez substancje krystaliczne, przebiegającej w zakresie aktywności wody powyżej 0,7 jest rozpuszczanie tych substancji [18].

Aktywność wody, przy której cząsteczki wody zaczynają wykazywać ruchliwość, daje początek reakcji nieenzymatycznego brunatnienia. Intensywność reakcji Maillarda wzrastała wraz ze wzrostem aktywności wody środowiska [18]. Proces rozpuszczania oraz skutki reakcji nieenzymatycznego brązowienia zaobserwowano dla większości dodatków: A, C, D, E, G, H, I i J. Proces pęcznienia wystąpił w przypadku dodatku B zawierającego 98,0% karagenu oraz dodatku F, który zawierał 63,0% koncentratu białka sojowego, 11,0% mono- i diglicerydów kwasów tłuszczowych. Najbardziej zmieniony obraz próbek zaobserwowano przy najwyższych aktywnościach wody środowiska (0,753 i 0,903).

Do opisu izoterm adsorpcji wody badanych dodatków wykorzystano siedem modeli: cztery modele dwuparametrowe (BET, Halseya, Oswina i Freundlicha), dwa modele trójparametrowe (GAB oraz Lewickiego) oraz model czteroparametrowy (Pelega).

Model dobrze opisuje izotermę, kiedy wartości średniego błędu kwadratowego są mniejsze niż 5%, a dostatecznie przy RMS mniejszym od 10%. Jeżeli średni błąd kwadratowy jest większy od 10% dany model należałoby odrzucić. Zastosowane modele GAB, Lewickiego, Pelega, Oswina, Halseya oraz Freundlicha posiadały wysokie wartości średniego błędu kwadratowego (tab. 3), co świadczy o braku możliwości ich wykorzystania do opisu danych sorpcji badanych dodatków przyprawowych.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że jedynie model BET w zakresie aktywności wody 0,0–0,432 dobrze opisywał większość izoterm adsorpcji wody przez dodatki przyprawowe do żywności pochodzenia zwierzęcego (tab.3).

Najniższą wartość RMS 4,21% uzyskał dodatek B w zakresie aktywności wody 0,0–0,432 dla modelu BET. Najwyższym średnim błędem kwadratowym (15,60%) charakteryzował się dodatek J.

Graficzne dopasowanie danych uzyskanych z modeli BET i Pelega do izoterm adsorpcji wody badanych dodatków przedstawiono na rysunkach od 7 do 10.

Największą pojemnością monowarstwy wyznaczoną z modelu BET charakteryzowały się dodatki B i D, przyjmując odpowiednio wartości 6,119 g H₂O/100 g s.s. i 5,185 g H₂O/100 g s.s., natomiast dodatek A wykazał najniższą wartość pojemności monowarstwy wynoszącą 1,405 g H₂O/100 g s.s.

Tabela 3. Obliczone parametry modeli izoterm adsorpcji wody przez dodatki przyprawowe do żywności pochodzenia zwierzęcego (zakres a_w : 0,075-0,903)

Model (parametry)	Rodzaj dodatku do żywności									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BET										
u_m	1,405	6,119	4,308	5,185	2,101	4,066	3,229	4,155	2,251	2,467
C	4,756	12,359	14,088	1,000	8,183	14,711	13,425	10,739	10,744	6,307
r^2	0,9219	0,9973	0,9940	0,8562	0,9726	0,9905	0,9922	0,9921	0,9868	0,9875
RMS[%]	13,07	4,21	4,30	> 20	11,45	5,60	7,54	7,60	5,03	15,60
Zakres a_w	0,0-0,432	0,0-0,432	0,0-0,432	0,0-0,432	0,0-0,432	0,0-0,432	0,0-0,432	0,0-0,432	0,0-0,432	0,0-0,432
GAB										
u_m	8,390	10,002	19,999	19,999	19,999	5,583	19,942	13,756	19,999	19,999
C	1,000	1,483	0,999	0,409	0,656	3,548	0,413	6,004	0,980	0,973
k	0,883	0,999	0,654	0,903	0,973	0,999	0,922	0,999	0,389	0,522
r^2	0,9195	0,9909	0,9879	0,9519	0,9255	0,9683	0,9885	0,7357	0,9922	0,9915
RMS[%]	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
Freundlich										
a	44,615	179,387	327,754	107,811	226,615	123,332	123,278	108,918	260,283	22,802
b	3,099	5,942	6,047	4,373	5,082	6,904	4,534	14,666	6,587	5,461
r^2	0,9626	0,9658	0,9919	0,9724	0,9676	0,9353	0,9844	0,9881	0,9885	0,9931
RMS [%]	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
Lewicki										
F	80,344	6,711	14,477	17,942	18,118	6,018	6,845	6,769	8,104	12,646
G	0,0	1,175	1,103	0,644	0,899	0,999	0,999	1,505	1,224	1,029
H	4,095	0,106	5,721	5,533	5,416	0,549	0,049	0,997	5,198	4,770
r^2	0,9736	0,9956	0,9878	0,9416	0,9205	0,9757	0,9257	0,9459	0,9926	0,9889
RMS [%]	> 20	11,51	> 20	> 20	> 20	19,09	> 20	> 20	> 20	> 20
Peleg										
A	22,306	199,320	336,165	108,027	223,674	192,449	121,753	938,551	265,967	225,221
B	3,098	8,596	6,626	4,448	4,553	13,399	5,047	14,075	7,457	6,103
D	22,306	15,573	7,149	0,479	8,478	15,066	5,901	14,009	10,018	8,493
E	3,101	0,608	0,374	0,029	0,999	0,870	0,430	0,817	0,999	0,999
r^2	0,9626	0,9969	0,9950	0,9726	0,9686	0,9952	0,9895	0,9904	0,9923	0,9948
RMS [%]	> 20	5,33	10,37	> 20	> 20	14,68	18,44	18,24	> 20	> 20
Oswin										
h	7,134	10,661	16,397	10,295	16,1258	5,590	11,064	2,375	10,568	13,562
z	0,698	1,003	1,078	0,867	0,961	1,076	0,894	2,023	1,146	1,021
r^2	0,8787	0,9927	0,9876	0,9288	0,9139	0,9822	0,9820	0,9947	0,9931	0,9877
RMS [%]	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
Halsey										
n	1,216	0,886	0,822	0,999	0,912	0,835	0,973	0,447	0,775	0,859
g	7,463	6,051	7,362	7,281	9,111	3,205	7,426	1,185	4,627	6,846
r^2	0,8505	0,9955	0,9828	0,9130	0,8999	0,9901	0,9745	0,9957	0,9895	0,9804
RMS [%]	> 20	15,56	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20

Wyznaczone z modelu BET wartości pojemności monowarstwy (tab.3) były nieznacznie niższe od zawartości wody w badanych dodatkach przyprawowych, oznaczonej tuż po otwarciu opakowania (tab.2). Fakt ten świadczy o tym, że zawartość wody w dodatkach przyprawowych dotyczyła początkowego obszaru adsorpcji wielowarstwowej (nieznacznie powyżej monowarstwy), który to zakres, zdaniem wielu bada-

czy, stanowi optymalny poziom zawartości wody w materiale suchym. Zmierzona średnia aktywność wody odpowiadająca tym zawartościom wody stanowiła optymalne warunki przechowywania (poziom wilgotności względnej środowiska otaczającego przechowywany materiał w temperaturze 25°C).

WNIOSKI

1. Badane dodatki przyprawowe do żywności pochodzenia zwierzęcego charakteryzowały się zróżnicowanymi właściwościami higroskopijnymi, co wynikało z ich zróżnicowanego składu chemicznego. Wykazywały one dużą wrażliwość na wilgoć oraz dużą zdolność chłonięcia przez nie wody.

2. Izoterm adsorpcji wody badanych dodatków przyprawowych odpowiadały II i III typowi izoterm według klasyfikacji Brunauera i innych [1]. Większość izoterm posiadała płaski kształt przy niskich wartościach aktywności wody. Przy aktywności wody mieszczącej się w zakresie 0,529-0,753 występowało charakterystyczne przegięcie widoczne na izotermach i wraz ze wzrostem aktywności wody znacznie wzrastała równowagowa zawartość wody w dodatkach przyprawowych.

3. Rodzaj dodatku miał wpływ na przebieg izoterm adsorpcji wody. Największe różnice pomiędzy równowagowymi zawartościami wody badanych materiałów zaobserwowano przy wyższych aktywnościach wody. Najwyżej przebiegały izoterm adsorpcji wody dla dodatku H zawierającego m.in. 45% tripolifosforanu, a najniżej dla dodatku A zawierającego 49% chlorku sodu.

4. Model BET najlepiej opisywał izoterm adsorpcji wody dodatków w zakresie aktywności wody 0,0-0,432. Zastosowane modele GAB, Lewickiego, Pelega, Oswina, Halseya oraz Freundlicha posiadały wysokie wartości średniego błędu kwadratowego (>10%), co świadczy o braku możliwości wykorzystania tych modeli do opisu danych sorpcji badanych dodatków przyprawowych.

5. Największą pojemnością monowarstwy wyznaczoną z modelu BET charakteryzowały się dodatki B (98% karagenu) oraz D (m.in. 27% cytrynianu trisodowego, 21% laktanu kwasu glukonowego i 20% mleczanu wapnia), natomiast dodatek A wykazał wartość najniższą ze względu na dużą zawartość chlorku sodu.

6. Wyznaczone z modelu BET wartości pojemności monowarstwy były nieznacznie niższe od zawartości wody w badanych dodatkach przyprawowych, oznaczonej tuż po otwarciu opakowania. Zawartość wody w badanych dodatkach dotyczyła początkowego obszaru adsorpcji wielowarstwowej. Zmierzona średnia aktywność wody odpowiadająca tym zawartościom wody pozwala określić optymalne warunki przechowywania dodatków.

LITERATURA

- [1] Brunauer S., Emmett P.H., Teller E.: Adsorption of gases in multilayers, *Journal of the American Chemical Society*, 1938, 60, 309-319.
- [2] Brunauer S., Deming L.S., Deming W.E., Teller E.: On a theory of van der Waals adsorption of gases, *Journal of the American Chemical Society*, 1940, 62, 1723-1732.
- [3] Caurie M.: A practical approach to water sorption isotherms and the basis for the determination of optimum moisture levels of dehydrated foods, *Journal of Food Technology*, 1971, 6/1, 85-89.
- [4] Comaposada J., Gou P., Arnau J.: The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms, *Meat Science*, 2000, 55, 291-295.
- [5] Czapski J., Wieland A.: Dodatki do żywności przyjaciel czy wróg? Poznań, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1992.
- [6] Druri M.: Aromaty na progu XXI wieku, *Przemysł Spożywczy*, 1994, 48, 66.
- [7] Duda Z.: Dodatki do żywności pochodzenia zwierzęcego, *Przemysł Spożywczy*, 1993, 47, 135.
- [8] Gawęcki J., Hryniewiecki L.: Żywnienie człowieka tom 1, *Podstawy nauki o żywieniu*, Warszawa, PWN, 2004.
- [9] Gawęcki J., Mossor-Pietraszewska K.: Kompendium wiedzy o żywności, żywieniu i zdrowiu, Warszawa, PWN, 2004, 156-164.
- [10] Halsey G.: Physical adsorption on non-uniform surfaces, *The Journal of Chemical Physics*, 1948, 16/10, 931-937.
- [11] Janicki A.: Funkcje żywnościowe substancji dodatkowych kształtujących cechy sensoryczne żywności, *Przemysł Spożywczy*, 1999a, 3, 10-13.
- [12] Janicki A.: Funkcje żywieniowe dodatków do żywności. (red. Czapski J., Grajek W., Pospiech E.) Surowce, technologia i dodatki a jakość żywności, Poznań, Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego, 1999b, 267-279.
- [13] Karel M.: Teorie procesów suszenia, Nowe metody zagęszczania i suszenia żywności (red. A. Spicer), Warszawa, WNT, 1980.
- [14] Lewicki P.P.: A three parameter equation for food moisture sorption isotherms, *Journal of Food Process Engineering*, 1998, 21, 127-144.
- [15] Oswin C.R.: The kinetics of package life, III, The isotherm, *Journal of Chemical Industry*, (London), 1946, 65, 419-423.
- [16] Ościk J.: Adsorpcja, Warszawa, PWN, 1983.
- [17] Pałacha Z.: Badanie stanu wody w matrycy modelowej i uzyskanej z jabłek z wykorzystaniem metody opartej na izotermach sorpcji oraz kalorymetrycznej, Warszawa, SGGW, 2007, 1-84.
- [18] Pałacha Z.: Aktywność wody ważny parametr trwałości żywności, *Przemysł Spożywczy*, 2008, 4, 22-25.
- [19] Peleg M.: An empirical model for the description of moisture sorption curves, *Journal of Food Science*, 1988, 53 (4), 1216-1219.
- [20] Peleg M.: Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms, *Journal of Food Process Engineering*, 1993, 16, 21-37.
- [21] Pijanowski E., Dłużewski M., Dłużewska A., Jarczyk A.: Ogólna technologia żywności, Warszawa, WNT, 2006.
- [22] Praca zbiorowa: Woda jako składnik żywności, *Chemia żywności*. (red. Z. Sikorski) Warszawa, WNT, 2002, 57-87.
- [23] Pyrcz J., Kowalski R.: Rola substancji dodatkowych w przemyśle mięsnym cz. I, *Gospodarka Mięsna*, 2005a, 11, 16-20.
- [24] Pyrcz J., Kowalski R.: Rola substancji dodatkowych w przemyśle mięsnym cz. II, *Gospodarka Mięsna*, 2005b, 12, 26-34.

- [25] Rutkowski A.: Funkcje technologiczne i żywieniowe dodatków do żywności, (red. Czapski J., Grajek W., Pospiech E.) Surowce, technologia i dodatki a jakość żywności, Poznań, Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego, 1999, 9-22.
- [26] Rutkowski A., Gwiazda S., Dąbrowski K.: Dodatki funkcjonalne do żywności, Katowice, Agro & Food Technology, 1999.
- [27] Salwin N.: Defining minimum moisture contents for dehydrated foods, Food Technology, 1959, 13, 10, 594-601.
- [28] Świtka J., Krasowski Z.: Zastosowanie izoterm sorpcji wody w technologii żywności, Przemysł Spożywczy, 1990, 44 (4-5), 105-107.
- [29] Van den Berg C., Bruin S.: Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects, In Water Activity: Influences on Food Quality (eds.) L.B. Rockland, G.E. Steward, Academic Press, New York, 1981, 1-62.
- [30] Wolf W.R., Spiess W.E.L., Jung G.: Standardization of isotherm measurements, In: Properties of water in foods in relation to quality and stability (eds. D. Sinatos, J.L. Multon). Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1985, 661-679.
- [31] Zawirska-Wojtasiak R.: Aromaty, barwniki, konserwanty perspektywy stosowania, Przemysł Spożywczy, 2005, 4, 2-10.
- [32] www.wikipedia.org.

SORPTION PROPERTIES OF SOME SEASONING FOOD ADDITIVES TO ANIMAL PRODUCTS

SUMMARY

In the paper measurement of sorption properties of some seasoning food additives to animal products were investigated. Analysed seasoning food additives were characterized with diversified ability of adsorption of water vapour. In the range of water activity 0,075 ÷ 0,903 noticeable differences in course of isotherms and curves of kinetics of water adsorption ability. Isotherms of water vapour adsorption for seasoning food additives to animal products had a compatible course with course of II and III type isotherms according to BET classification. The results of measurements were described as well as illustrated with proper graphs and opportunely sorptions models.