

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

BADANIE STANU WODY W WYBRANYCH KASZACH Z WYKORZYSTANIEM METODY OPARTEJ NA IZOTERMACH SORPCJI®

W artykule zamieszczono wyniki badań dotyczące wyznaczania izotermy adsorpcji wody dla kaszy gryczanej, jaglanej i jęczmiennej, w trzech różnych wartościach temperatury 5, 25 i 40°C, w zakresie aktywności wody od 0,021 do 0,910. Stwierdzono, że izotermy dla badanych kasz miały przebieg sigmoidalny i należały do II typu izoterm zgodnie z klasyfikacją Brunauera i współpracowników. Model GAB poprawnie opisywał otrzymane izotermy. Najwyższe wartości czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody stwierdzono dla kaszy gryczanej w zakresie równowagowej zawartości wody od 2,5 do 10 g wody/100 g s.s.

WSTĘP

Ziarna zbóż, takich jak gryka, proso czy jęczmień, są jednym z najcenniejszych surowców kaszarskich posiadających duże znaczenie żywieniowe [10]. Przetwory zbożowe, w tym także kasze, są podstawą piramidy żywieniowej; dlatego też powinny być częstym składnikiem codziennej diety. Kasze mają także zasadniczy wpływ na bilans energetyczny i witaminowy organizmu oraz pośrednio wpływają na jego odporność i system immunologiczny [26].

Kasze wykorzystywane są przede wszystkim jako dodatek skrobiowy do dań obiadowych lub warzywnych, w których zastępują z powodzeniem ziemniaki czy ryż. Stanowią one składnik wielu produktów spożywczych, takich jak: zapiekanki, kotlety czy zagęszczacze do zup i sosów [9].

W kuchni staropolskiej kaszami nadziewano drób, ryby i wiele potraw mącznych, takich jak: pierogi, naleśniki, strudle czy kulebiaki oraz przygotowywano z nich krokiety, budynie i babki. Kasze podawano też na słodko z bakaliami, konfiturami lub sokiem owocowym [38].

W przemyśle mięsnym kasze są cennymi dodatkami pochodzenia roślinnego. Pęczak i kaszę perłową stosuje się do konserw mięsno-warzywnych, natomiast kaszę łamaną zwykłą – do produkcji kaszanki. Do tego celu bywa używana także kasza gryczana cała i łamana. Wywar z kaszy gryczanej może być także wysoko cenionym dodatkiem do mieszanek mlecznych przeznaczonych dla niemowląt, dzięki któremu wzbogaca się je w niezbędne dla organizmu sole mineralne [26].

Kasze są przetworami zbożowymi mniej trwałymi niż ziarno zbóż, ponieważ podczas ich produkcji następuje uszkodzenie okrywy nasiennej, co prowadzi do łatwiejszego chłonięcia wody i obcych zapachów z otoczenia. Woda zaadsorbowana przez produkt prowadzi do przyspieszenia przemian fizycznych, chemicznych i biologicznych, co w konsekwencji ma wpływ na długość okresu przydatności do spożycia. Ze względu na występowanie tego zjawiska bardzo ważne jest jej odpowiednie przechowywanie. A zatem, aby określić optymalne warunki magazynowania niezbędne jest wyznaczenie izoterm sorpcji, które są graficznym przedstawieniem mechanizmu wiązania wody przez materiał biologiczny [22]. Izotermy sorpcji pozwalają ustalić optymalną zawartość wody w produkcie,

a więc na takim poziomie, przy którym szybkość przebiegu reakcji zachodzących w materiale będzie najniższa. Poznanie tych parametrów pomaga w przedłużeniu okresu trwałości żywności, a także pozwala odpowiednio zaprojektować procesy suszenia, mieszania składników czy magazynowania [22, 23].

Ważnym parametrem przy projektowaniu procesów cieplnych, a zwłaszcza procesu suszenia, jest czyste izosteryczne ciepło sorpcji wody, które jest wskaźnikiem określającym stan zaadsorbowanej wody przez materiał, a przez to pozwala określić ilość niezbędnego ciepła, jakie należy doprowadzić do materiału, aby odparować z niego wodę [27]. Określenie wielkości opisujących stan wody w żywności pozwala nie tylko zoptymalizować warunki prowadzenia procesów technologicznych, w szczególności procesów suszenia czy mieszania składników, ale także przyczynia się do zaoszczędzenia energii, zapobiegania stratom produktów podczas ich przechowywania, a tym samym, zminimalizowania kosztów produkcji [22, 23].

Celem artykułu jest prezentacja wyznaczonych izoterm adsorpcji wody dla kaszy gryczanej, jaglanej i jęczmiennej w trzech różnych wartościach temperatury. Zakres przeprowadzonej pracy obejmował określenie wpływu temperatury i gatunku kaszy na przebieg izoterm adsorpcji wody oraz próbę ich matematycznego opisu. Wyznaczone zostały również wartości czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody badanych materiałów.

METODYKA BADAŃ

1. Materiał badawczy

Do badań użyto trzy gatunki kaszy: gryczaną paloną firmy P.W. Mlexer, oraz jaglaną i jęczmienną (pęczak) firmy P.P.H. Janex.

2. Metody analityczne

2.1. Oznaczenie zawartości wody

Zawartość wody w badanych materiałach oznaczono metodą suszenia pod obniżonym ciśnieniem w suszarce Horyzont Spt-200. Próbkę materiału suszono w temperaturze 70 ±1°C przy ciśnieniu 0,266 kPa w czasie 48 godzin [1].

2.2. znaczenie aktywności wody

Aktywność wody kasz zmierzono za pomocą miernika aktywności wody Aqua Lab CX-2 (Decagon Devices Inc., USA) w temperaturze 25 ±1°C. Pomiar wykonano w 3 powtórzeniach.

2.3. Wyznaczenie izoterm adsorpcji wody

Izotermi adsorpcji wody wyznaczono metodą statyczną [34], stosując roztwory kwasu siarkowego [30] i nasycone roztwory soli jako czynniki higrostatyczne – LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, Mg(NO₃)₂, NaNO₂, NaCl, (NH₄)₂SO₄ i BaCl₂ [7, 12 29]. Badania wykonano w zakresie aktywności wody 0,021 – 0,910 w temperaturze 5, 25 i 40 ±0,5°C w 3 powtórzeniach. Czas przetrzymywania próbek w tych warunkach wynosił 3 miesiące.

3. Metody obliczeniowe

Obliczenia wykonano, korzystając z programów komputerowych Excel 2003 (Microsoft) i Table Curie 2D v.3 (Jandel Scientific), a graficzną ich interpretację przedstawiono przy użyciu programu Sigma Plot v.5.0 (Jandel Scientific).

3.1. Obliczenie równowagowej zawartości wody

Równowagową zawartość wody w kaszach niezbędną do wyznaczenia izoterm adsorpcji wody, obliczono ze wzoru [15]:

$$u = \left(\frac{d}{c \frac{b}{a}} - 1 \right) \cdot 100 \tag{1}$$

gdzie:

u – równowagowa zawartość wody, g wody, 100 g s.s.,

a – początkowa masa próbki z ekсыkatora z CaCl₂, g,

b – końcowa masa próbki, po trzymiesięcznym przetrzymywaniu, z ekсыkatora z CaCl₂ (po suszeniu w temperaturze 70°C, pod zredukowanym ciśnieniem, przez 24 h), g,

c – początkowa masa próbki z ekсыkatora z określonym roztworem, g,

d – końcowa masa próbki, po trzymiesięcznym przetrzymywaniu, z ekсыkatora z określonym roztworem, g.

3.2. Dopasowanie modelu sorpcji GAB do danych adsorpcji wody

Do opisu izoterm adsorpcji wody badanych kasz zastosowano model GAB (Guggenheima, Andersona i de Boera) [2]:

$$u = \frac{u_m C k a_w}{(1 - k a_w)[1 + (C - 1)k a_w]} \tag{2}$$

gdzie:

a_w – aktywność wody,

u – równowagowa zawartość wody, g wody/100 g s.s.,

u_m – zawartość wody w monowarstwie, g wody/100 g s.s.,

C, k – stałe.

Przydatność modelu do opisu uzyskanych izoterm została oceniona na podstawie średniego błędu kwadratowego (RMS) wyrażonego w % [13].

3.3. Wyznaczenie czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody

Do wyznaczenia czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody wykorzystano różniczkową postać równania Clausiusa-Clapeyrona [21, 28]:

$$\left(\frac{\partial \ln a_w}{\partial T} \right)_u = \frac{q_{st,n}}{RT^2} \tag{3}$$

Całkując równanie (3) oraz zakładając, że czyste izosteryczne ciepło adsorpcji jest niezależne od temperatury, otrzymano równanie:

$$\ln a_w = -\frac{q_{st,n}}{R} \cdot \frac{1}{T} + const \tag{4}$$

gdzie:

a_w – aktywność wody,

q_{st,n} – czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody, kJ/mol,

R – stała gazowa; R=8,3144·10⁻³ kJ/(mol·K),

T – temperatura bezwzględna, K.

Dysponując izotermami adsorpcji wody wyznaczonymi w trzech wartościach temperatury, sporządzono wykres ln a_w w funkcji odwrotności temperatury bezwzględnej 1/T, dla ustalonych równowagowych zawartości wody. Wykreślone w taki sposób izostery są liniami prostymi, a wyznaczony z równania regresji współczynnik kierunkowy pozwala obliczyć czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody.

Do opisu zmian czystego izosterycznego ciepła adsorpcji w funkcji zawartości wody zastosowano dwuparametrowy empiryczny model wykładniczy zaproponowany przez Tsami i innych [36]:

$$q_{st,n} = q_o \exp(-u / u_o) \tag{5}$$

oraz trójparametrowy (empiryczny I) (6) i czteroparametrowy (empiryczny II) (7) modele zaproponowane przez Pałachę [23, 25]:

$$q_{st,n} = A' + B' \exp(-u / C') \tag{6}$$

$$q_{st,n} = A'' + \frac{B''}{\left[1 + \left(\frac{u}{C''} \right)^{D''} \right]} \tag{7}$$

gdzie:

q_o – stała, określająca czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody przy u = 0, q_o = q_{st,n},

u_o – stała, określająca charakterystyczną zawartość wody (u_o = u), przy której czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody (q_{st,n}) jest obniżone o 63%,

A', B', C', A'', B'', C'' i D'' – stałe.

OMÓWIENIE I Dyskusja Wyników

1. Charakterystyka badanych kasz

Tabela 1. Zawartość wody i aktywność wody w badanych kaszach

Produkt	Zawartość wody [%]	Aktywność wody
Kasza gryczana	13,65	0,583
Kasza jaglana	8,35	0,577
Kasza jęczmienna	11,50	0,518

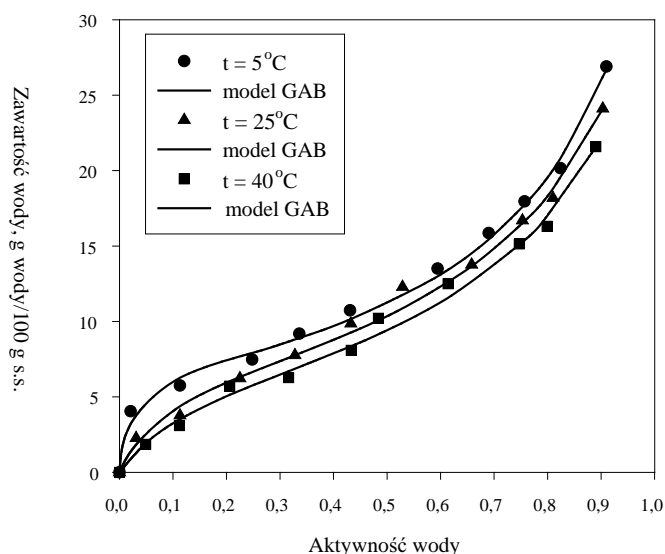
W tabeli 1 przedstawiono zawartość i aktywność wody w badanych kaszach. Najwyższą zawartość wody, wynoszącą 13,65%, posiadała kasza gryczana, nieco niższą kasza jęczmienna (11,50%), a najniższą zawartością wody charakteryzowała się kasza jaglana (8,35%). Wartości aktywności wody kaszy gryczanej i kaszy jaglanej były na zbliżonym poziomie, wynosząc odpowiednio 0,583 i 0,577. Natomiast kasza jęczmienna posiadała najniższą aktywność wody 0,518.

2. Izotermy adsorpcji wody

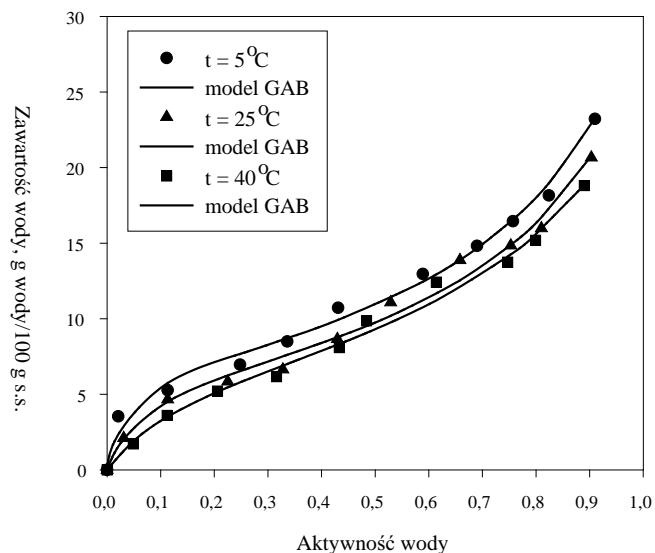
Na podstawie obliczonej równowagowej zawartości wody dla kaszy gryczanej, jaglanej i jęczmiennej przy różnym poziomie aktywności wody i temperatury wykreślono izotermy adsorpcji wody (rys. 1-6). Wszystkie izotermy adsorpcji wody badanych kasz posiadały sigmoidalny kształt, typowy dla izoterm adsorpcji wielu produktów spożywczych [6, 8, 18, 19, 24, 25] i zgodnie z klasyfikacją Brunauera i współpracowników [4] odpowiadały II typowi izoterm.

2.1. Wpływ temperatury na przebieg izoterm adsorpcji wody

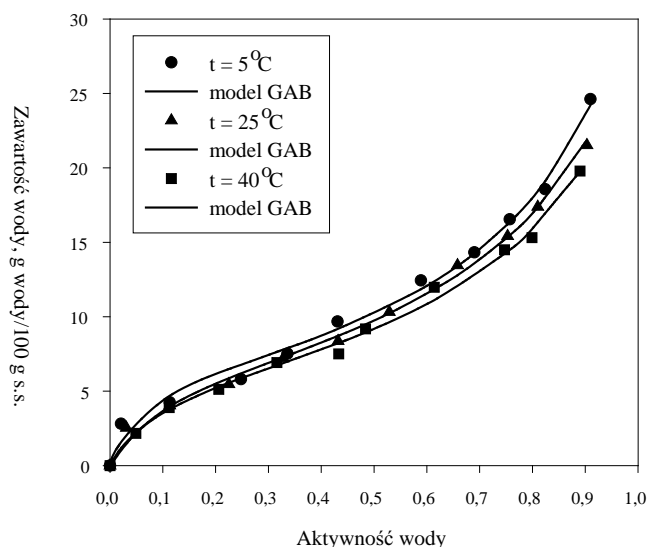
Wpływ temperatury na przebieg izoterm adsorpcji wody kaszy gryczanej, jaglanej i jęczmiennej przedstawiono na rysunkach 1-3.



Rys. 1. Wpływ temperatury na przebieg izoterm adsorpcji wody kaszy gryczanej.



Rys. 2. Wpływ temperatury na przebieg izoterm adsorpcji wody kaszy jaglanej.

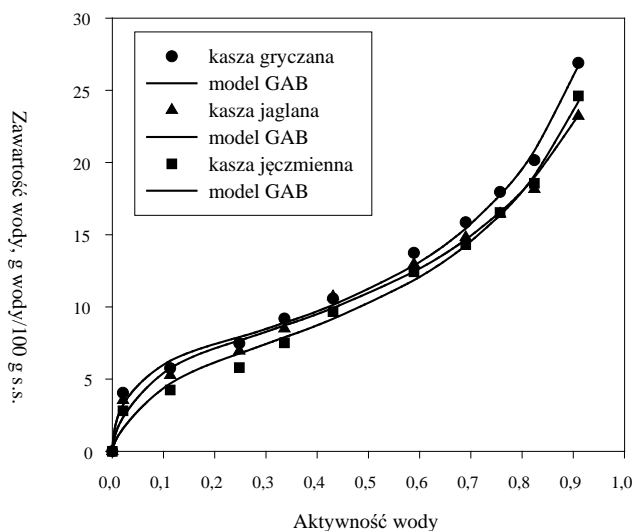


Rys. 3. Wpływ temperatury na przebieg izoterm adsorpcji wody kaszy jęczmiennej.

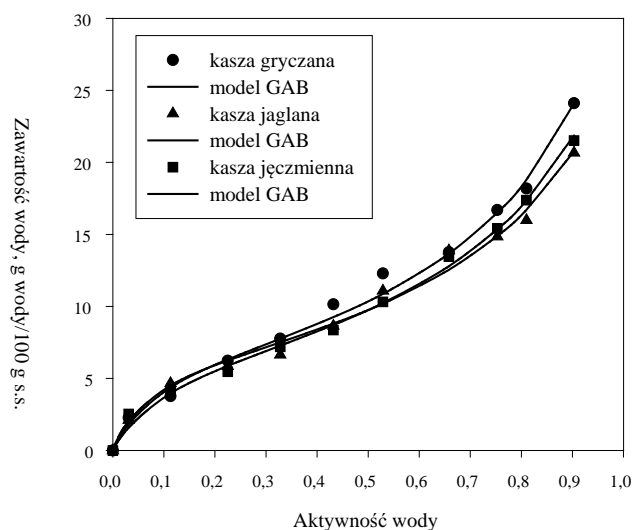
Ogólnie wzrost temperatury w badanym zakresie aktywności wody spowodował zmniejszenie równowagowej zawartości wody przy danej aktywności wody dla wszystkich kasz. Przykładowo, kasza gryczana w temperaturze 5°C adsorbowała ok. 53% więcej wody niż w temperaturze 25°C i ok. 63% więcej wody niż w temperaturze 40°C przy $a_w = 0,113$. Przy wyższej $a_w = 0,75$ równowagowa zawartość wody w temperaturze 5°C była wyższa o ok. 9% niż w temperaturze 25°C i ponad 18% wyższa niż w temperaturze 40°C dla tej samej aktywności wody. W przypadku kaszy jaglanej i kaszy jęczmiennej (rys. 2 i 3) stwierdzono podobną tendencję. Taki przebieg procesu adsorpcji pary wodnej wynika z faktu, że oddziaływania międzycząsteczkowe są funkcją temperatury, a tym samym ilość pary wodnej zaadsorbowana przez materiał zależy od temperatury i jest tym większa, im temperatura jest niższa [16].

Podobne tendencje przebiegu izoterm adsorpcji wody dla wielu nasion: zbóż, roślin oleistych, strączkowych i innych produktów żywnościowych zostały potwierdzone w literaturze [4, 5, 18, 19, 20, 25, 33, 35].

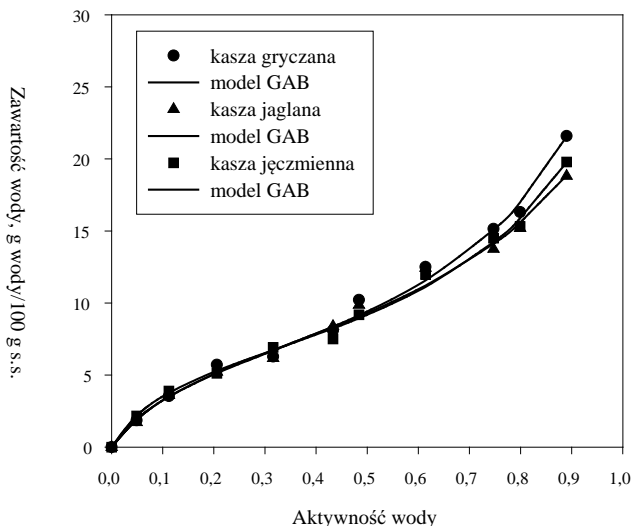
2.2. Wpływ gatunku kaszy na przebieg izoterm adsorpcji wody



Rys. 4. Wpływ rodzaju kaszy na przebieg izoterm adsorpcji wody w temperaturze 5°C.



Rys. 5. Wpływ rodzaju kaszy na przebieg izoterm adsorpcji wody w temperaturze 25°C.



Rys. 6. Wpływ rodzaju kaszy na przebieg izoterm adsorpcji wody w temperaturze 40°C.

Na rysunkach 4-6 przedstawiono wpływ gatunku kaszy na przebieg izoterm adsorpcji wody odpowiednio w temperaturze 5, 25 i 40°C. Największą różnicę pomiędzy równowagowymi zawartościami wody w zależności od gatunku kaszy, w badanym zakresie aktywności wody, stwierdzono w temperaturze 5°C (rys. 4). Najbardziej higroskopijnym materiałem okazała się kasza gryczana, a najmniej higroskopijnym, kasza jęczmienna. Przykładowo, przy $a_w = 0,113$, równowagowa zawartość wody dla kaszy gryczanej była o 9,2% wyższa niż dla kaszy jaglanej i o 35,4% wyższa niż dla kaszy jęczmiennej. Natomiast przy $a_w = 0,75$, równowagowa zawartość wody dla kaszy gryczanej była ponownie o 9,2% wyższa niż dla kaszy jaglanej i o 8,5% wyższa niż dla kaszy jęczmiennej. W przypadku danych eksperymentalnych uzyskanych w temperaturze 25°C (rys. 5), różnice pomiędzy równowagowymi zawartościami wody, w zależności od gatunku kaszy, były znacznie mniejsze, szczególnie w zakresie aktywności wody 0,031 – 0,529. Tym niemniej, najwyżej przebiegała izoterma dla kaszy gryczanej w całym badanym zakresie aktywności wody. Natomiast po przekroczeniu $a_w = 0,529$, kasza jęczmienna okazała się bardziej higroskopijna od kaszy jaglanej. W temperaturze 40°C (rys. 6), przy niższych wartościach aktywności wody (0,049 – 0,484), izotermy praktycznie pokrywały się ze sobą. Natomiast po przekroczeniu $a_w = 0,484$, izoterma dla kaszy gryczanej odchyliła się ku górze i wykazała najwyższą równowagową zawartość wody.

Ogólnie, kształt izoterm adsorpcji wody badanych kasz był bardzo zbliżony. Tym niemniej, najbardziej higroskopijnym materiałem okazała się kasza gryczana. Pomimo zbliżonego składu chemicznego badanych kasz [9, 11, 17, 31], prawdopodobnie obróbka termiczna kaszy gryczanej (proces prażenia) spowodowała naruszenie struktury i wystąpienie procesu denaturacji białek i kleikowania skrobi, a tym samym przyczyniła się do powstania dodatkowych centrów aktywnych do adsorpcji wody.

2.3. Dopasowanie modelu GAB do danych eksperymentalnych

W tabeli 2 zestawiono obliczone parametry modelu GAB dla badanych kasz oraz pokazano zgodność dopasowania tego modelu, wyrażoną przez współczynnik determinacji (r^2) oraz średni błąd kwadratowy (RMS).

Analiza danych wskazała, że współczynnik determinacji nie był wystarczającą miarą dla zgodności dopasowania modelu GAB, a znacznie lepszym kryterium zgodności dopasowania był średni błąd kwadratowy. Ogólnie, model GAB w miarę poprawnie opisywał izotermy adsorpcji wody badanych kasz w całym badanym zakresie aktywności wody i praktycznie spełniał warunki określone przez Lewickiego [14] dopuszczające dany model do opisu danych eksperymentalnych przy $RMS < 10\%$. Wartość RMS kształtowała się w granicach od 5,88 do 9,33% dla kaszy gryczanej, od 6,14 do 11,48% dla kaszy jaglanej i od 5,62 do 14,84% dla kaszy jęczmiennej. Graficzne dopasowanie danych uzyskanych z modelu GAB do izoterm adsorpcji wody badanych kasz przedstawiono na rysunkach 1 – 6.

Wartości stałych (tab. 2) uzyskane z modelu GAB dla badanych kasz, tj. zawartość wody w monowarstwie (u_m) oraz stałe C i k związane z energią oddziaływań między pierwszą

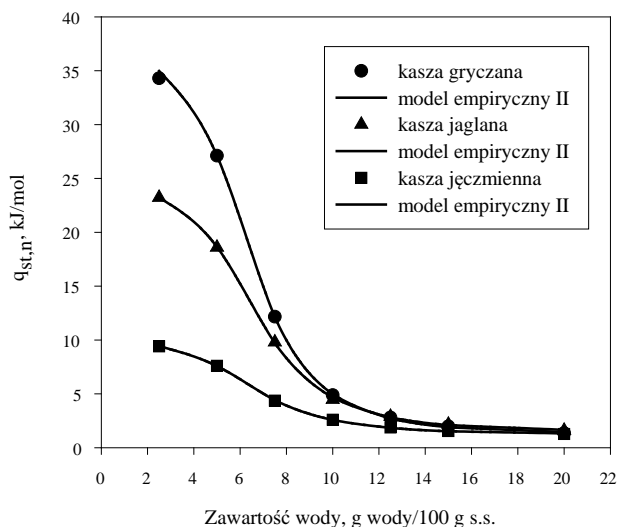
Tabela 2. Obliczone parametry modelu GAB izoterm adsorpcji wody badanych kasz

Model GAB (parametry)	Kasza gryczana			Kasza jaglana			Kasza jęczmienna		
	5°C	25°C	40°C	5°C	25°C	40°C	5°C	25°C	40°C
u_m	6,784	6,901	6,554	7,083	6,563	6,990	6,618	6,732	6,334
C	50,650	13,750	9,695	30,120	17,827	9,581	18,150	12,068	12,484
k	0,822	0,799	0,796	0,769	0,766	0,729	0,805	0,778	0,776
r^2	0,9950	0,9907	0,9925	0,9907	0,9896	0,9916	0,9927	0,9943	0,9919
RMS, %	7,66	9,33	5,88	11,48	6,33	6,14	14,84	12,03	5,62

a dalszymi adsorbowanymi warstwami wody, poprawnie opisywały sigmoidalny kształt izotermy.

Wpływ temperatury na wartości stałych wyznaczonych z modelu GAB dla badanych materiałów nie był jednoznaczny (tab. 2). Zawartość wody w monowarstwie dla wszystkich kasz nie wykazała jednoznacznej tendencji rosnącej lub malejącej związanej ze wzrostem temperatury. Wartości stałej k, dla wszystkich badanych materiałów zmniejszały się ze wzrostem temperatury. Natomiast wraz ze wzrostem temperatury, dla kaszy gryczanej i jaglanej, stwierdzono zmniejszanie się wartości stałej C. Podobne zachowanie stałej C wykazali Pałacha i Meus [25] dla nasion i mąki amarantusa, Weisser [37] dla kawy mielonej oraz Sanchez i wsp. [32] dla suszu ziemniaczanego.

3. Czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody



Rys. 7. Czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody kaszy gryczanej, jaglanej i jęczmiennej wyznaczone z izoterm.

Na rysunku 7 przedstawiono wartości czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody jako funkcję zawartości wody dla badanych kasz. Ogólnie, czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody dla wszystkich kasz obniżało się wraz ze wzrostem równowagowej zawartości wody. Tym niemniej, w przebiegu zmian czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody w funkcji równowagowej zawartości wody można wyodrębnić dwa charakterystyczne regiony różne dla badanych materiałów; region I – wyraźnego spadku $q_{st,n}$, oraz region II – bardzo nieznacznego zmniejszania się wartości $q_{st,n}$ wraz ze wzrostem zawartości wody. Największy spadek czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody zaobserwowano w zakresie równowagowej zawartości wody od 2,5 do 10,0 g

wody/100 g s.s. i w tym zakresie wystąpiły największe różnice pomiędzy $q_{st,n}$ dla badanych kasz. Najwyższe wartości $q_{st,n}$ w tym zakresie stwierdzono dla kaszy gryczanej, a najmniejsze dla kaszy jęczmiennej. Przy równowagowej zawartości wody 2,5 g wody/100 g s.s. $q_{st,n}$ dla kaszy gryczanej było prawie o 48% wyższe od $q_{st,n}$ dla kaszy jaglanej i ponad 2,6 razy większe od $q_{st,n}$ dla kaszy jęczmiennej (rys. 7). W miarę zwiększania się ilości zaadsorbowanej wody od 10 do 20 g wody/100 g s.s. w materiale, $q_{st,n}$ badanych kasz ulegało nieznacznym zmianom i zbliżało się do utajonego ciepła parowania czystej wody. Podobną tendencję zmian $q_{st,n}$ stwierdzono dla matrycy jabłka [23] oraz nasion i mąki amarantusa [25].

Podjęto próbę wykorzystania modeli empirycznych, dwuparametrowego [36] oraz trój- i czteroparametrowego opracowanych przez Pałachę [23] do opisu zmian czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody w funkcji zawartości wody. W tabeli 3 zestawiono obliczone parametry modeli oraz pokazano zgodność dopasowania modeli do danych doświadczalnych. Stwierdzono, że jedynie model czteroparametrowy (empiryczny II) poprawnie opisywał zmianę $q_{st,n}$ w funkcji zawartości wody dla wszystkich badanych kasz (RMS: od 1,76 do 7,55%) (tab. 3, rys. 7).

Tabela 3. Obliczone parametry modeli opisujących zmiany czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody w funkcji zawartości wody

Model (parametry)	Rodzaj produktu		
	Kasza gryczana	Kasza jaglana	Kasza jęczmienna
Tsami i in.			
q_0	58,196	38,275	13,901
u_0	4,735	5,013	6,462
r^2	0,9496	0,9492	0,9674
RMS, %	> 25	24,88	21,40
Empiryczny I trójparametrowy			
A'	0,999	0,899	0,769
B'	67,788	38,630	14,009
C'	3,515	5,019	5,257
r^2	0,9022	0,9605	0,9640
RMS, %	17,17	> 25	10,89
Empiryczny II czteroparametrowy			
A''	1,293	1,480	1,230
B''	34,100	22,027	8,345
C''	6,373	6,667	6,656
D''	4,685	4,376	4,043
r^2	0,9999	0,9998	0,9999
RMS, %	7,55	2,78	1,76

WNIOSKI

1) Izotermy adsorpcji wody kaszy gryczanej, jaglanej i jęczmiennej należą do II typu izoterm według klasyfikacji Brunauera i współpracowników, charakterystycznego m.in. dla produktów zbożowych.

2) Temperatura procesu adsorpcji wody wpływała istotnie na higroskopijność badanych kasz. Ogólnie stwierdzono, że równowagowa zawartość wody, bez względu na gatunek kaszy, wzrastała ze spadkiem temperatury przy tej samej aktywności wody, bądź przy tej samej równowagowej zawartości wody, wzrastała aktywność wody ze wzrostem temperatury.

3) Gatunek kaszy miał wpływ na przebieg izoterm adsorpcji wody. Największe różnice pomiędzy równowagowymi zawartościami wody badanych kasz stwierdzono w temperaturze 5°C, przy czym, najwyżej przebiegała izoterma adsorpcji wody dla kaszy gryczanej, a najniżej dla kaszy jęczmiennej.

4) Model GAB w miarę poprawnie opisywał dane sorpcyjne badanych kasz w całym badanym zakresie aktywności wody. Wartość RMS kształtowała się na poziomie od 5,62 do 14,84%.

5) Gatunek kaszy miał wpływ na czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody. Największy spadek czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody stwierdzono w zakresie równowagowej zawartości wody od 2,5 do 10,0 g wody/100 g s.s. i w tym zakresie wystąpiły największe różnice pomiędzy $q_{st,n}$ dla badanych kasz. Najwyższe wartości $q_{st,n}$ miała kasza gryczana, a najniższe kasza jęczmienna.

6) Uzyskane w pracy wyniki poszerzają wiedzę podstawową i bazę danych w zakresie właściwości sorpcyjnych kasz, a także przyczynią się do prawidłowego doboru warunków ich przechowywania.

LITERATURA

- [1] **AOAC. 1996.** *Official methods of analysis*. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- [2] **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.
- [3] **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.
- [4] **ERBAŞ M., ERTUGAY M.F., CERTEL M. 2005.** *Moisture adsorption behaviour of semolina and farina*. Journal of Food Engineering, 69, 191-198.
- [5] **GINER S.A., GELY M.C. 2005.** *Sorptional parameters of sunflower seeds of use in drying and storage stability studies*. Biosystems Engineering, 92(2), 217-227.
- [6] **GONDEK E., JAKUBCZYK E., CACAK-PIETRZAK G., RUTKOWSKI K. 2010.** *Właściwości sorpcyjne ziarna pszenicy*. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 20/37(2), 68-72.
- [7] **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.
- [8] **IGLESIAS H.A., CHIRIFE J. 1982.** *Handbook of Food Isotherms*. Academic Press, New York.
- [9] **JURGA R. 2004.** *Prawie wszystko o kaszach*. Przegląd Zbożowo-Młynarski, 6, 25-27.
- [10] **KOWALEWSKI W., GAŁAZKA R., GAŚSIOROWSKA T. 2004.** *Technologia czyszczenia i przerobu gryki na kaszę*. Przegląd Zbożowo-Młynarski, 6, 27-30.
- [11] **KRKOSKOVA B., MRAZOWA Z. 2005.** *Prophylactic components of buckwheat*. Food Research International, 38, 561-568.
- [12] **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.
- [13] **LEWICKI P.P. 1998.** *A three parameter equation for food moisture sorption isotherms*. Journal of Food Process Engineering, 21(2), 127-144.
- [14] **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.
- [15] **LEWICKI P.P. 1997.** *Water sorption isotherms and their estimation in food model mechanical mixtures*. Journal of Food Engineering, 32(1), 47-68.
- [16] **LEWICKI P.P. 1990.** *Przemiany fazowe*. W: Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. T 2. Procesy przenoszenia ciepła i masy (red. P.P. Lewicki), Warszawa, WNT, 11-45.
- [17] **LI S., ZHANG Q.H. 2001.** *Advances in the development of functional foods from buckwheat*. Food Science and Nutrition, 41(6), 451-464.
- [18] **MENKOV N.D. 2000a.** *Moisture sorption isotherms of chickpea seeds at several temperatures*. Journal of Food Engineering, 45, 189-194.
- [19] **MENKOV N.D. 2000b.** *Moisture sorption isotherms of lentil seeds at several temperatures*. Journal of Food Engineering, 45, 205-211.
- [20] **MENKOV N.D. 2000c.** *Moisture sorption isotherms of vetch seeds at four temperatures*. Journal of Agricultural Engineering Research, 76, 373-380.
- [21] **MULET A., GARCIA-REVERTER J., SANJUÁN R., BON J. 1999.** *Sorption isosteric heat determination by thermal analysis and sorption isotherms*. Journal of Food Science, 64 (1), 64-68.
- [22] **PAŁACHA Z. 2010.** *Właściwości sorpcyjne*. W: Właściwości fizyczne żywności (red. Z. Pałacha, I. Sitkiewicz), Warszawa, WNT, 143-169.
- [23] **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, 1-84.
- [24] **PAŁACHA Z., MALCZEWSKA A. 2010.** *Izotermy adsorpcji i desorpcji wody wybranych przypraw*. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 20/36(1), 12-18.

- [25] PAŁACHA Z., MEUS K. 2009. *Wpływ temperatury na właściwości sorpcyjne nasion i mąki amarantusa*. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 19/35(2), 41-48.
- [26] PROCYK A. 1997. *Gryka i proso – cenne rośliny użytkowe i lecznicze oraz ich uprawa*. Ogród Roślin Leczniczych Akademii Medycznej we Wrocławiu, 7-9.
- [27] RIZVI S.S.H. 1995. *Thermodynamic properties of foods in dehydration*. In: Engineering Properties of Foods (eds. M.A. Rao, S.S.H. Rizvi), Marcel Dekker, Inc. New York, Basel, Hong Kong, 223-309.
- [28] RIZVI S.S.H., BENADO A.L. 1984. *Thermodynamic properties of dehydrated foods*. Food Technology, 38 (3), 83-92.
- [29] ROCKLAND L.B.: *Saturated salt solution for static control of relative humidity between 5 and 40°C*. Analytical Chemistry, 1960, 32, 1375-1376.
- [30] RUEGG M. 1980. *Calculation of the activity of water in sulfuric acid solutions at various temperatures*. Lebensmittel – Wissenschaft und –Technologie, 13(1), 22-24.
- [31] RZEDZICKI Z., WIRKIJOWSKA A. 2008. *Charakterystyka składu chemicznego przetworów jęczmiennych ze szczególnym uwzględnieniem składu frakcyjnego błonnika pokarmowego*. Żywność. Nauka, Technologia, Jakość, 1(58), 52-64.
- [32] SÁNCHEZ E.S., SAN JUAN N., SIMAL S., ROSSELLÓ C. 1997. *Calorimetric techniques applied to the determination of isosteric heat of desorption for potato*. Journal of Food Science and Agriculture, 74(1), 57-63.
- [33] SOPADE P.A., AJISEGIRI E.S. 1994. *Moisture sorption study on nigerian foods: maize and sorghum*. Journal of Food Process Engineering, 17(1), 33-36.
- [34] 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.
- [35] TOĞRUL H., ARSLAN N. 2006. *Moisture sorption behaviour and thermodynamic characteristics of rice stored in a chamber under controlled humidity*. Biosystems Engineering, 95(2), 181-195.
- [36] TSAMI E., MAROULIS Z.B., MARINOS-KOURIS D., SARAVACOS G.D. 1990. *Heat of sorption of water in dried fruits*. International Journal of Food Science and Technology, 25(3), 350-359.
- [37] WEISSER H. 1986. *Influence of temperature on sorption isotherms*. In: Food Engineering and Process Applications (eds. M. LeMaguer and P. Jelen), Elsevier Applied Science Publications, London, 186-200.
- [38] www.mojeprzepisy.pl

A STUDY OF WATER STATE IN CHOSEN GROATS USING THE METHOD BASED ON SORPTION ISOTHERMS

SUMMARY

In the paper water adsorption isotherms were determined for buckwheat, millet and barley groats using the static method at 5, 25 and 40°C over a range of water activity from 0,021 to 0,910. The water adsorption isotherms investigated groats had a compatible course with course of II type isotherms according to BET classification. The GAB model gave correct fit to the experimental sorption data for all material tested. The highest values of net isosteric heat of water adsorption had the buckwheat groats in the range of moisture content from 2,5 to 10,0 g water/100 g d.m.