

WPŁYW TEMPERATURY NA WŁAŚCIWOŚCI SORPCYJNE SUSZU PIECZAREK

Katarzyna Kędzierska, Zbigniew Pałacha

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności, SGGW
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa
email: katarzyna.kedzierska@gmail.com

Streszczenie. W pracy wyznaczono izotermy adsorpcji wody dla suszu pieczarek w czterech różnych wartościach temperatury 5, 15, 25 i 35°C, w zakresie aktywności wody od 0,006 do 0,910. Stwierdzono, że izotermy adsorpcji wody badanego suszu posiadały kształt sigmoidalny i zgodnie z klasyfikacją Brunauera i in. odpowiadały II typowi izoterm. Modele Lewickiego i BET najlepiej opisywały otrzymane izotermy. Najwyższe wartości czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody stwierdzono dla suszu pieczarki w zakresie równowagowej zawartości wody od 5 do 10 g wody/100 g s.s.

Słowa kluczowe: pieczarki, izotermy adsorpcji, czyste izosteryczne ciepło adsorpcji

WSTĘP

W Polsce duże znaczenie wśród grzybów uprawowych ma pieczarka dwuzarodnikowa (*Agaricus bisporus*) (Kołożyn-Krajewska i Sikora 2004). Grzyby te charakteryzują się nie tylko specyficznym smakiem, zapachem czy teksturą, ale również są cennym źródłem witamin z grupy B, szczególnie tiaminy i ryboflawiny (Jaworska i in. 2007, Çaglarlırmak 2007, Furlani i Godoy 2008).

Możliwości wykorzystania pieczarek w technologii żywności są dość szerokie. Są one wykorzystywane m.in. do produkcji marynat, mrożonek, suszy, jako dodatek do koncentratów spożywczych oraz do celów kulinarnych.

Jedną z metod przedłużenia trwałości pieczarek, jest ich odwodnienie, najczęściej metodą suszenia konwekcyjnego (Lentas i Witrowa-Rajchert 2009). Susze otrzymane tą metodą mają niestety wiele wad, które zmniejszają możliwości ich wykorzystania. W celu poprawienia jakości suszu, coraz częściej stosuje się liofilizację, czyli suszenie sublimacyjne, pomimo jego wysokich kosztów. Susze liofilizowane charakteryzują się bardzo dobrą jakością, posiadają praktycznie nienaru-

szoną strukturę, a ich zawartość wody zawiera się w przedziale od 1,5 do 4% przy aktywności wody na poziomie 0,20-0,35.

Ważnym zagadnieniem decydującym o właściwościach fizycznych, chemicznych, czy biologicznych żywności jest stan wody w materiale. Najlepszym narzędziem do pomiaru stanu wody w żywności jest wyznaczenie izoterm sorpcji lub desorpcji wody (Pałacha 2007). Wymagają one znajomości aktywności wody i jej zawartości w materiale. Dysponując izotermami sorpcji wyznaczonymi w kilku wartościach temperatury można określić właściwości sorpcyjne żywności, a także wyznaczyć izosteryczne ciepło sorpcji materiału, dostarczające informacji o przemianach energetycznych zachodzących w nim podczas procesu sorpcji i pośrednio informujące o stanie związania wody w materiale (Rizvi 1995).

Z termodynamicznego punktu widzenia izoterma sorpcji wody wiąże zawartość wody w materiale z jej prężnością, co jest bardzo istotne przy analizie przenoszenia ciepła i masy w procesie suszenia i pozwala również zaprojektować urządzenia wykorzystywane w procesach odwadniania żywności (Karel 1980, Gondek i in. 2009). Dzięki wyznaczonym izotermom sorpcji wody 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 (Gal 1983, Świtka i Krasowski 1990). W praktyce izotermy sorpcji znalazły również zastosowanie dla zapewnienia optymalnych warunków przechowywania i pakowania żywności o małej zawartości wody (Cardoso i Labuza 1983, Świtka i Krasowski 1990).

Literatura podaje wiele przykładów prac przedstawiających właściwości sorpcyjne żywności oraz zmiany ciepła sorpcji w funkcji zawartości wody dla wielu produktów spożywczych. Natomiast brak jest danych dotyczących suszy pieczarek, szczególnie poddanych suszeniu sublimacyjnemu.

Celem pracy było wyznaczenie izoterm adsorpcji wody dla suszu pieczarek w czterech różnych wartościach temperatury. Zakres pracy obejmował określenie wpływu temperatury na przebieg izoterm adsorpcji wody oraz próbę ich matematycznego opisu. Określona została również wartość czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody badanego suszu.

MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto pieczarkę dwuzarodnikową klasy A. Surowiec poddano suszeniu sublimacyjnemu w suszarce Christ Alpha 1-4. Materiał został początkowo zamrożony w zamrażarce Profi Master PMU 03 do temperatury -70°C , w której został przetrzymywany przez 24 godziny. Następnie poddano go suszeniu sublimacyjnemu w temperaturze 30°C przez 24 godziny.

Wysuszony materiał został przetrzymywany przez 2 tygodnie nad P_2O_5 w celu dosuszenia. Izotermy adsorpcji wody wyznaczono metodą statyczno-eksykatorową (Spiess i Wolf 1983) stosując nasycony roztwór NaOH i nasycone roztwory soli jako czynniki higrostatyczne: LiCl, CH_3COOK , $MgCl_2$, K_2CO_3 , $Mg(NO_3)_2$, $NaNO_2$, NaCl, $(NH_4)_2SO_4$ i $BaCl_2$ (Greenspan 1977, Pałacha 2007). W ekzykatorach z roztworami o wyższej aktywności wody (NaCl, $(NH_4)_2SO_4$ oraz $BaCl_2$) umieszczono naczynka z tymolem, w celu ochrony przed rozwojem mikroflory w materiale. Badania wykonano w zakresie aktywności wody 0,006-0,910 w temperaturze 5, 15, 25 i $35^\circ C \pm 0,5^\circ C$ w 3 powtórzeniach. Czas przetrzymywania próbek wyniósł 3 miesiące.

Równowagową zawartość wody niezbędną do wyznaczenia izoterm adsorpcji wody w suszu pieczarek obliczono na podstawie równania (Lewicki 1997):

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

gdzie: u – równowagowa zawartość wody ($g \text{ wody} \cdot (100 \text{ g s.s.})^{-1}$), a – początkowa masa próbki z ekzykatora z P_2O_5 (g), b – końcowa masa próbki po trzymiesięcznym przechowywaniu w ekzykatorze z P_2O_5 (po suszeniu w temperaturze $70^\circ C$, pod zredukowanym ciśnieniem, przez 24h) (g), c – początkowa masa próbki z ekzykatora z określonym roztworem (g), d – końcowa masa próbki po trzymiesięcznym przetrzymywaniu, z ekzykatora z określonym roztworem (g).

Do opisu izoterm adsorpcji wody suszu zastosowano następujące modele: BET, GAB, Oswina, Lewickiego i Pelega.

Aproksymację izoterm przeprowadzono na bazie wszystkich punktów pomiarowych (3 powtórzenia).

Model BET (Brunauer i in. 1938):

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

Model GAB (Bizot 1983):

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

Model Lewickiego (1998):

$$u = F \left[\frac{1}{(1 - a_w)^G} - \frac{1}{1 + a_w^H} \right] \quad (4)$$

Model Pelega (1993):

$$u = Aa_w^D + Ba_w^E \quad (5)$$

Model Oswina (1946):

$$u = h \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^z \quad (6)$$

gdzie: a_w – aktywność wody, u – równowagowa zawartość wody, (g wody·(g s.s.)⁻¹), u_m – zawartość wody w monowarstwie, (g wody·(g s.s.)⁻¹), $h, k, z, A, B, C, D, E, F, G, H$ – stałe.

Parametry dla modeli adsorpcji wody zostały wyznaczone przy zastosowaniu programów Microsoft Office Excel 2007 oraz Table Curve 2D v11.01.

W celu określenia przydatności modeli do opisu uzyskanych izoterm adsorpcji przeprowadzono analizę średniego błędu kwadratowego (RMS) wyrażonego w %, który obliczono na podstawie równania (Lewicki, 1998):

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{u_e - u_p}{u_e} \right)^2}{N}} \cdot 100 \quad (7)$$

gdzie: u_e – doświadczalna równowagowa zawartość wody, (g wody·(100 g s.s.)⁻¹), u_p – prognozowana równowagowa zawartość wody, (g wody·(100 g s.s.)⁻¹), N – liczba punktów pomiarowych.

Do wyznaczenia czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody wykorzystano różniczkową postać równania Clausiusa – Clapeyrona (Iglesias i Chirife 1976, Ościk 1983):

$$\left(\frac{\partial \ln a_w}{\partial T} \right)_u = \frac{q_{st,n}}{RT^2} \quad (8)$$

Całkując równanie (8) oraz zakładając, że czyste izosteryczne ciepło adsorpcji jest niezależne od temperatury, otrzymano wyrażenie:

$$\ln a_w = -\frac{q_{st,n}}{R} \cdot \frac{1}{T} + const \quad (9)$$

gdzie: $q_{st,n}$ – czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$), R – stała gazowa; $R = 8,314 \cdot 10^{-3}$ ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), T – temperatura bezwzględna (K).

Dysponując izotermami adsorpcji wody wyznaczonymi w czterech wartościach temperatury, sporządzono wykres w układzie współrzędnych $\ln a_w$ w funkcji odwrotności temperatury bezwzględnej $1/T$ dla ustalonych wartości równowagowych zawartości wody. Wykreślone w takim układzie współrzędnych izostery są liniami prostymi, a wyznaczona z równania regresji wartość współczynnika kierunkowego pozwala obliczyć czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody (Pałacha 2007).

WYNIKI I DYSKUSJA

Na podstawie danych eksperymentalnych średniej równowagowej zawartości wody ($\text{g wody} \cdot (100 \text{ g s.s.})^{-1}$) dla analizowanego suszu pieczarki zostały wykreślone izotermy adsorpcji wody (rys. 1). Uzyskane izotermy posiadały typowy kształt sigmoidalny, charakterystyczny dla izoterm typu II, według klasyfikacji Brunauera i in. (1940). Generalnie wzrost temperatury w badanym zakresie aktywności wody spowodował zmniejszenie równowagowej zawartości wody przy danej aktywności wody. Podobną tendencję przebiegu izoterm adsorpcji wody stwierdzono dla wielu składników żywności oraz produktów spożywczych (Iglesias i Chirife 1982). 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 (Lewicki 1990, McLaughlin i Magee 1998).

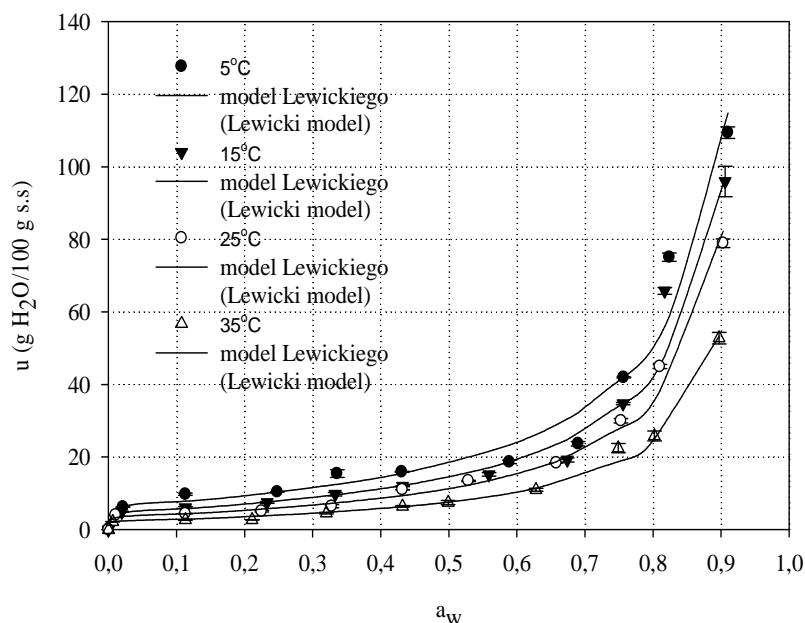
Do opisu izoterm adsorpcji wody suszu pieczarek wykorzystano pięć modeli: dwa modele dwuparametrowe (BET, Oswin), dwa modele trójparametrowe (GAB oraz Lewicki) oraz model czteroparametrowy (Peleg).

W tabeli 1 zestawiono obliczone parametry dla suszu pieczarek, w zastosowanych modelach izoterm sorpcji oraz pokazano zgodność dopasowania tych modeli, wyrażoną przez współczynnik determinacji (r^2) oraz średni błąd kwadratowy (RMS).

Analiza danych wskazuje, że współczynnik determinacji nie jest wystarczającą miarą dla zgodności dopasowania modelu sorpcji, a znacznie lepszym kryterium zgodności dopasowania jest średni błąd kwadratowy.

Stwierdzono, że model Lewickiego, w miarę poprawnie opisywał dane sorpcyjne suszu pieczarek w całym badanym zakresie temperatury i aktywności wody. Model

BET również poprawnie opisywał dane sorpcyjne suszu pieczarek dla badanego zakresu temperatury, ale w ograniczonym zakresie aktywności wody (0,006-0,432).



Rys. 1. Przebieg izoterm adsorpcji wody dla suszu pieczarki przy różnych wartościach temperatury
Fig. 1. Course of water adsorption isotherms for dried champignon mushrooms at different values of temperature

W przypadku izoterm adsorpcji wyznaczonych w niższych wartościach temperatury (5 i 15°C) poprawnie został dopasowany również model Pelega. Dla modelu Pelega wartości średniego błędu kwadratowego wynosiły 13,86 oraz 11,99%. Ponieważ wartość stałej k w modelu GAB była większa od 1, tak więc model ten nie może być wykorzystany do opisu izoterm. Model Oswina najgorzej opisywał dane sorpcyjne suszu pieczarek, a wartość błędu RMS przekraczała 20%.

Wartości stałych (tab.1) uzyskane z modelu BET, tj. zawartość wody w monowarstwie (u_m) oraz C związana z energią oddziaływać między pierwszą zaadsorbowaną warstwą cząsteczek wody, a indywidualnymi centrami adsorpcji matrycy, poprawnie opisują sigmoidalny kształt izoterm. Wraz ze wzrostem temperatury wartość u_m wyznaczona z modelu BET obniżała się z wartości 8,992 (w 5°C) do 3,000 (w 35°C). Podobną tendencję malejącą stwierdzili Wang i Brennan (1991) dla suszu ziemniaczanego, Samaniego – Esguerra i in. (1991) dla suszonych moreli i zielonego groszku, Sopade i Ajisegiri (1994) dla ziaren kuku-

rydzy i sorgo oraz Ayrañci i Duman (2005) dla nasion fasolnika chiñskiego i jego izolatów białkowych.

Tabela 1. Obliczone parametry dla modeli izoterm sorpcji
Table 1. Calculated parameters for the models of sorption isotherms

Model (parametry) Model (parameters)	Temperatura – Temperature (°C)			
	5	15	25	35
BET*				
u_m	8,992	6,392	4,980	3,000
C	89,53	92,88	212,2	310,2
r^2	0,956	0,974	0,870	0,899
RMS (%)	8,26	8,46	17,75	17,82
GAB				
u_m	8,500	8,200	5,095	3,450
C	95,50	10,90	65,60	45,99
k	1,020	1,010	1,041	1,045
r^2	0,947	0,95	0,986	0,92
RMS (%)	13,69	3,08	>20	>20
Lewicki				
F	10,90	11,30	9,156	5,324
G	0,990	0,900	0,958	1,038
H	0,050	0,280	0,205	0,165
r^2	0,963	0,958	0,989	0,994
RMS (%)	17,19	13,20	10,53	10,91
Peleg				
A	183,0	11,62	135,3	100,8
B	6,460	0,240	7,553	8,558
D	14,12	159,8	15,61	14,76
E	0,180	6,340	0,558	0,851
r^2	0,984	0,982	0,995	0,968
RMS (%)	13,86	11,99	>20	>20
Oswin				
h	22,20	15,23	11,40	9,030
z	0,534	0,790	0,894	0,810
r^2	0,837	0,955	0,987	0,988
RMS (%)	>20	>20	>20	>20

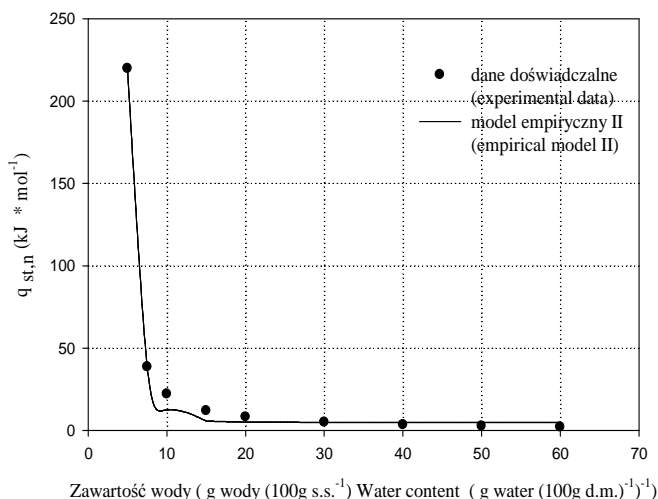
* zakres – range a_w 0,006-0,432.

Graficzne dopasowanie danych uzyskanych z modelu Lewickiego do izoterm adsorpcji wody badanego suszu pieczarki w czterech wartościach temperatury przedstawiono na rysunku 1.

Opierając się na opisie izoterm adsorpcji wody modelem Lewickiego oraz wykorzystując równanie Clausiusa-Clapeyrona, obliczono czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody dla suszu pieczarek.

Na rysunku 2 przedstawiono wartości czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody jako funkcję zawartości wody dla suszu pieczarek.

Ogólnie, czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody obniżyło się wraz ze wzrostem równowagowej zawartości wody (rys. 2). Tym niemniej w przebiegu zmian czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody można wyodrębnić dwie charakterystyczne strefy: strefa I – wyraźnego spadku $q_{st,n}$ w suszu pieczarek w zakresie równowagowej zawartości wody od około 5 g do 10 g wody $\cdot (100 \text{ g s.s.})^{-1}$, oraz strefę II – bardzo nieznacznego zmniejszenia się wartości $q_{st,n}$, po przekroczeniu wartości zawartości wody 10 g wody $\cdot (100 \text{ g s.s.})^{-1}$. Podobny kierunek zmian czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody w funkcji zawartości wody stwierdzono dla celulozy (Leung i Steinberg 1979), suszu ziemniaczanego (Wang i Brennam 1991, Pałacha i in. 1998), nasion i mąki amarantusa (Pałacha i Meus 2009), pieprzu (Kaymak-Ertekin i Sultanoğlu 2001) oraz matrycy jabłka (Pałacha 2007). Rozważając stan wody w suszu pieczarek na podstawie zmieniającego się czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody, należy stwierdzić, że większe wartości $q_{st,n}$ przy małych zawartościach wody (na poziomie tworzenia warstwy



Rys. 2. Czyste izosteryczne ciepło adsorpcji wody $q_{st,n}$ pieczarki w funkcji zawartości wody
Fig. 2. Net isosteric heat of water adsorption $q_{st,n}$ in the function of water content in dried button mushrooms

monomolekularnej) świadczą o wysokim potencjale energetycznym centrów aktywnych matrycy pieczarek, a tym samym wskazują na znaczne siły wzajemnego oddziaływania międzycząsteczkowego między matrycą i wodą. Z chwilą wypełnienia centrów aktywnych monowarstwy adsorpcji, pojawia się na mniej aktywnych centrach polarnych mających mniejszy potencjał energetyczny i tworzona jest następna warstwa cząsteczek wody na powierzchni matrycy (adsorpcja wielowarstwowa), a wartości $q_{st,n}$ stopniowo maleją, zbliżając się, przy dużych zawartościach wody, do wartości utajonego ciepła parowania czystej wody (Iglesias i Chirife 1976, Tsami 1991, Wang i Brennam 1991, Sánchez i in. 1997).

Podjęto próbę dopasowania trzech modeli; półempirycznego dwuparametrowego modelu Tsami i in. (1991) oraz dwóch empirycznych: trój- i czteroparametrowego (Pałacha 2007) do danych doświadczalnych czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody w funkcji zawartości wody. W tabeli 2 zestawiono otrzymane parametry modeli oraz pokazano zgodność dopasowania modeli do danych doświadczalnych opierając się na wartości współczynnika determinacji (r^2). Model empiryczny II (czteroparametrowy) najlepiej opisywał dane doświadczalne dla suszu pieczarek (tab. 2, rys. 2). Podobnie model empiryczny czteroparametrowy najlepiej opisywał dane doświadczalne uzyskane dla matrycy jabłka (Pałacha 2007) oraz nasion i mąki amarantusa (Pałacha i Meus 2009).

Tabela 2. Dopasowanie modeli do danych doświadczalnych czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody w funkcji zawartości wody dla suszu pieczarek

Table 2. Fitting of the models to experimental data of net isosteric heat of water adsorption in the function of water content in dried button mushrooms

Nazwa modelu i jego postać Model and its formula	Współczynnik determinacji r^2 Coefficient of determination r^2
Model Tsami i in. – Tsami <i>et al.</i> model $q_{st,n} = 46,56 \exp(-u / 2,53)$	0,988
Model empiryczny I (trójparametrowy) (Empirical model I (three parameters)) $q_{st,n} = 4,8 + 8722,6 \exp(-u/1,35)$	0,995
Model empiryczny II (czteroparametrowy) (Empirical model II (four parameters)) $q_{st,n} = 4,78 + \frac{723,48}{1 + \left(\frac{u}{4,25}\right)^{5,32}}$	0,996

WNIOSKI

1. Izotermy adsorpcji wody suszu pieczarek należały do II typu izoterm według klasyfikacji Brunauera i innych (1940).
2. Temperatura procesu adsorpcji wpływała na przebieg izoterm adsorpcji. Im temperatura była niższa tym dana izoterma, w praktycznie całym badanym zakresie aktywności wody przebiegała wyżej. Tym samym higroskopijność suszu wzrastała z obniżeniem temperatury.
3. Najlepszymi modelami do opisu izoterm adsorpcji wody suszu pieczarek były modele: Lewickiego i BET w zakresie aktywności wody 0,006-0,432.
4. Największy spadek czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody w suszu pieczarek wystąpił w zakresie równowagowej zawartości wody od około 5,0 do 10,0 g wody·(100 g s.s.)⁻¹. W miarę zwiększania się ilości zaabsorbowanej wody powyżej 10 g wody·(100 g s.s.)⁻¹, czyste izosteryczne ciepło adsorpcji ulegało nieznacznemu zmniejszeniu i zbliżało się do utajonego ciepła parowania czystej wody.
5. Model empiryczny czteroparametrowy najlepiej opisywał dane doświadczalne czystego izosterycznego ciepła adsorpcji wody w funkcji zawartości wody.
6. Otrzymane w pracy izotermy oraz obliczone wartości $q_{st,n}$ informują o stanie wody w suszu pieczarek, pozwolą również prawidłowo zaprojektować proces usuwania wody z tego materiału oraz dobrać właściwe warunki jego przechowywania.

PIŚMIENNICTWO

- Ayranci E., Duman O., 2005. Moisture sorption isotherms of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and its protein isolate at 10, 20 and 30°C. *Journal of Food Engineering*, 70(1), 83-91.
- Bizot H., 1983. Using the GAB model to construct sorption isotherms. In: *Physical properties of foods* (eds. R. Jowitt, F. Escher, G. Vos). Applied Science Publishers, London, 43-54.
- Brunauer S., Emmett P., Teller E., 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of American Chemical Society*, 60, 309-319.
- Brunauer S., Deming L.S., Deming W.E., Teller E., 1940. On a theory of van der Waals adsorption of gases. *Journal of the American Chemical Society*, 62, 1723-1732.
- Çaglarlırmak N., 2007. The nutrients of exotic mushrooms (*Lentinula edodes* and *Pleurotus* species) and an estimated approach to the volatile compounds. *Food Chemistry*, 105 (3), 1188-1194.
- Cardoso G., Labuza T.P., 1983. Prediction of moisture gain and loss for packaged pasta subjected to a sine wave temperature/humidity environment. *Journal of Food Technology*, 18(5), 587-606.
- Furlani R.P.Z., Godoy H. T., 2008. Vitamins B1 and B2 contents in cultivated mushrooms. *Food Chemistry*, 106 (2), 816-819.
- Gal S., 1983. The need for, and practical applications of sorption data. In: *Physical Properties of Food*. (ed. R. Jowitt), Applied Science Publishers, London and New York, 13-25.
- Gondek E., Jakubczyk E., Maniewski M., 2009. Wpływ aktywności wody płatków owsianych na wybrane deskryptory emisji akustycznej. *Acta Agrophysica*, 13(1), 77-87.

- Greenspan L., 1977. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of Research of the National Bureau of Standards – A. Physics and Chemistry*, 81 A, 89-96.
- Iglesias H.A., Chirife J., 1976. Isothermic heats of water vapour sorption in dehydrated foods. *Lebensmittel -Wissenschaft und -Technologie*, 9(2), 107-112.
- Iglesias H.A., Chirife J., 1982. *Handbook of Food Isotherms*. Academic Press, New York.
- Jaworska G., Biernacka A., Wybraniec S., Bernaś E., 2007. Porównanie zawartości witaminy B1 i B2 w mrożonkach i sterylizowanych konserwach z boczniaka, borowika i pieczarki. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 6 (55), 177 – 185.
- Karel M., 1980. *Teoria procesów suszenia. Nowe metody zagęszczania i suszenia żywności* (red. A. Spicer). WNT, Warszawa.
- Kaymak-Ertekin F., Sultanoğlu M., 2001. Moisture sorption isotherm characteristics of peppers. *Journal of Food Process Engineering*, 47(3), 225-231.
- Kołożyn-Krajewska D., Sikora T., 2004. *Towaroznawstwo żywności, WSiP, Warszawa*, 156.
- Lentas K., Witrowa-Rajchert D., 2009. Wpływ parametrów blanszowania na właściwości mechaniczne i barwę suszu korzeni selera. *Acta Agrophysica*, 13 (1), 165-174.
- Leung H.K., Steinberg M.P., 1979. Water binding of food constituents as determined by NMR, freezing, sorption and dehydration. *Journal of Food Science*, 44(4), 1212-1220.
- Lewicki P.P., 1990. *Przemiany fazowe. W: Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. T. 2. Procesy przenoszenia ciepła i masy* (red.) P.P. Lewicki. WNT, Warszawa, 11-45.
- Lewicki P.P., 1997. Water sorption isotherms and their estimation in food model mechanical mixtures. *Journal of Food Engineering*, 32, 47-68.
- Lewicki P.P., 1998. A three parameter equation for food moisture sorption isotherms. *Journal of Food Process Engineering*, 21, 127-144.
- McLaughlin C.P., Magee T.R.A., 1998. The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. *Journal of Food Engineering*, 35(3), 267-280.
- Oswin C.R., 1946. The kinetics of package life. III. The isotherm. *Journal of Chemical Industry (London)*, 65, 419-423.
- Ościk J., 1983. *Adsorpcja*, PWN, Warszawa.
- Pałacha Z., Witrowa-Rajchert D., Lewicki P.P., 1998. Sorption properties of potato and carrot dried by convection. *Properties of Water in Foods* (ed.) P.P. Lewicki. *Proceedings of the IX Seminar, Warsaw Agricultural University Press, Warsaw*, 172-182.
- Pałacha Z., 2007. Badanie stanu wody w matrycy modelowej i uzyskanej z jabłek z wykorzystaniem metody opartej na izotermach sorpcji oraz kalorymetrycznej. *Wydawnictwo SGGW, Warszawa*, 1-84.
- Pałacha Z., Meus K., 2009. Wpływ temperatury na właściwości sorpcyjne nasion i mąki amarantusa. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 19/35(2), 41-48.
- Peleg M., 1993. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. *Journal of Food Process Engineering*, 16, 21-37.
- Rizvi S.S.H., 1995. Thermodynamic properties of food 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.
- Samaniego – Esguerra C.M., Boag I.F., Roberstson G.L., 1991. Comparison of regression methods for fitting the GAB model to the moisture isotherms of some dried fruit and vegetables. *Journal of Food Process Engineering*, 13(2), 115-133.

- 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.
- Sopade P.A., Ajisegiri E.S., 1994. Moisture sorption study on Nigerian foods: maize and sorghum. *Journal of Food Engineering* 17(1), 33-36.
- 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.
- Świtka J., Krasowski Z., 1990. Zastosowanie izoterm sorpcji wody w technologii żywności. *Przemysł Spożywczy*, 44 (4-5), 105-107.
- Tsami E., 1991. Net isosteric heat of sorption in dried fruits. *Journal of Food Process Engineering*, 14 (4), 327-335.
- Wang N., Brennan J.G., 1991. Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. *Journal of Food Engineering*, 14 (3), 269-287.

EFFECT OF TEMPERATURE ON WATER SORPTION PROPERTIES OF DRIED CHAMPIGNON MUSHROOMS

Katarzyna Kędzierska, Zbigniew Pałacha

Department of Food Engineering and Process Management, Faculty of Food Sciences,
SGGW-WULS

ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa

email: katarzyna.kedzierska@gmail.com

Abstract. In the paper water adsorption isotherms were determined for dried champignon mushrooms at 5, 15, 25 and 35°C over a range of water activity from 0.006 to 0.910. The water adsorption isotherms had a compatible course with the course of type II isotherms according to BET classification. The Lewicki and BET models gave the best fit to the experimental sorption data for the material tested. The highest values of net isosteric heat of water adsorption was found for dried champignon mushrooms in the range of moisture content from 5 to 10 g water (100 g d.m.)⁻¹

Key words: champignon mushrooms, adsorption isotherms, net isosteric heat of water adsorption