

Dr inż. Ewa GONDEK
 Dr inż. Ewa JAKUBCZYK
 Dr inż. Grażyna CACAK-PIETRZAK
 Mgr inż. Krzysztof RUTKOWSKI
 Wydział Nauk o Żywności, SGGW w Warszawie

Praca finansowana w ramach grantu nr N312 1588 34 MNiSW w latach 2008-2010

WŁAŚCIWOŚCI SORPCYJNE ZIARNA PSZENICY®

W pracy badawczo-doświadczalnej badano właściwości sorpcyjne ziarna pszenicy. Do opisu wyników zastosowano modele: BET, GAB, Hendersona, Lewickiego, Oswina i Pelega. Uzyskane izoterm sorpcji pary wodnej charakteryzowały się przebiegiem II typu według klasyfikacji Brunauera i wsp. Wykazano, że spośród analizowanych modeli do opisu izoterm sorpcji ziarna pszenicy najlepiej nadawały się modele Pelega, Lewickiego oraz GAB. Współczynnik dyfuzji wody, współczynnik kształtu oraz równowagową zawartość wody w ziarnie wyznaczono na podstawie pomiarów kinetycznych w oparciu o równanie dyfuzji nieustalanej Ficka. Wykazano, że na właściwości sorpcyjne ziarna pszenicy w dużym stopniu wpływała struktura jego bielma.

Słowa kluczowe: izoterm sorpcji, kinetyka sorpcji, pszenica, aktywność wody, szybkość sorpcji.

WSTĘP

Pszenica jest jednym z ważniejszych surowców w polskiej i światowej gospodarce zbożowej. Ziarno pszenicy jest otrzymywane sezonowo, dlatego musi być przechowywane. W trakcie tego procesu ważne jest zapewnienie odpowiednich warunków ograniczających procesy fizjologiczne zachodzące w ziarnie, aby nie nastąpiło pogorszenie jego jakości i przydatności przetwórczej. Przebieg i natężenie procesów fizjologicznych zależy w dużym stopniu od ilości i aktywności zawartej w ziarnie wody. Przy zwiększonej dostępności wody następuje hydroliza sacharydów, białek i lipidów, intensyfikacja procesu oddychania, co może prowadzić do kiełkowania ziarna [7, 10, 12]. Zawartość wody w ziarnie jest ważna także w procesie jego przetwarzania, np. w procesie suszenia, czy kondycjonowania ziarna [10].

W celu określenia zmian jakie zachodzą w ziarnie podczas chłonięcia wody, celowe jest wyznaczenie izoterm sorpcji wody. Znajomość przebiegu izoterm sorpcji pozwala przewidzieć zachowanie się ziarna podczas dłuższego kontaktu z atmosferą o wysokiej wilgotności względnej [6, 15, 19, 20]. Ziarno pszenicy jest materiałem heterogennym, porowatym, o drobnych kapilarach i strukturze koloidowej, składa się z wielu związków wykazujących właściwości hydrofilowe i zdolność silnego wiązania wody, wśród których najważniejszymi są białka i sacharydy [7]. Teoretyczne przewidywanie izoterm sorpcji takiego materiału nie jest możliwe, dlatego należy wyznaczyć je eksperymentalnie [22, 26].

Celem artykułu jest prezentacja wyników badań w zakresie właściwości sorpcyjnych ziarna pszenicy w warunkach statycznych i dynamicznych.

METODYKA BADAŃ

Materiał badawczy stanowiło ziarno pszenicy zwyczajnej odmian: Bogatka, Bombona, Hewilla, Kobra Plus, Parabola, Raweta, Rywalka, Tybalt, Wysokolitewka, Vinjett, Żura oraz orkisz odmiany Schwabencorn. Ziarno pochodziło z doświadczeń

polowych przeprowadzonych w latach 2008/2009 w Stacji Doświadczalnej Osiny, należącej do Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach.

W ramach oceny technologicznej ziarna oznaczono: zawartość białka ogółem metodą Kjeldahla (N·5,83), zawartość popiołu całkowitego, twardość przy użyciu przystawki do farinografu Brabendera przy szerokości szczeliny mielącej 100/5 oraz szklistość [14]. Aktywność wody zmierzono w aparacie Rotronic Hygroscop DT.

Izoterm adsorpcji pary wodnej wyznaczono metodą statyczno-eksykatorową. Z ziarna pszenicy wysuszonego w suszarce próżniowej (Typ STP 200, producent W.A.T. Horyzont, Polska) w temperaturze 70°C przez 48 godzin, odważono do naczynek aluminiowych próbki po ok. 1 g (na wadze analitycznej Marter, typ AE2405, dokładność +/-0,0001). Próbkę umieszczono w higrostaty nad nasyconymi roztworami soli o aktywnościach wody: CaCl₂: 0,000; LiCl₂: 0,113; CH₃COOK: 0,225; MgCl₂: 0,328; K₂CO₃: 0,432; Mg(NO₃)₂: 0,529; NaNO₂: 0,648; NaCl: 0,753; (NH₄)₂SO₄: 0,810 na okres 3 miesięcy [26]. Po tym czasie próbki ważono i na podstawie różnic masy obliczano zawartość wody.

Uzyskane izoterm sorpcji opisano przy pomocy następujących modeli:

Model GAB (Guggenheima, Andersona i de Boera) [3]:

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

u_m – równowagowa zawartość wilgoci w monowarstwie (g wody/100 g s.s.),

C i k – stałe modelu.

Model BET (Brunauera, Emmetta i Tellera) [4]:

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

u_m – równowagowa zawartość wilgoci w monowarstwie (g wody/100 g s.s.),

C – stała modelu.

Model Lewickiego [17]:

$$u = \frac{F}{(1 - a_w)^G} - \frac{F}{1 + a_w^H} \quad (3)$$

F, G, H – stałe modelu.

Model Pelega [22]:

$$u = A \times a_w^B + D \times a_w^E \quad (4)$$

A, B, D, E – stałe modelu.

Model Oswina [19]:

$$u = h \times \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^z \quad (5)$$

h, z – stałe modelu.

Model Hendersona [11]:

$$u = \left(\frac{-1}{A} \ln(1 - a_w) \right)^{\left(\frac{1}{B} \right)} \quad (6)$$

A, B – stałe modelu.

Przydatność modeli do opisu wyznaczonych izoterm adsorpcji, oceniono na podstawie:

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

u_e – równowagowa zawartość wilgoci wyznaczona eksperymentalnie (g wody/100 g s.s.),
 u_o – prognozowana równowagowa zawartość wilgoci (g wody/100 g s.s.),
 N – liczba danych.

Zredukowanego testu χ^2

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (u_e - u_o)^2}{N - n} \quad (8)$$

u_e – równowagowa zawartość wilgoci wyznaczona eksperymentalnie [g wody/100 g s.s.],
 u_o – prognozowana równowagowa zawartość wilgoci (g wody/100 g s.s.),
 N – liczba danych,
 n – liczba stałych w równaniu.

Uzyskane krzywe kinetyki opisano równaniem dyfuzji niestalanej Ficka:

$$\left(\frac{u_r - u_\tau}{u_r - u_0} \right) = A \exp(-K \times \tau) \quad (9)$$

u_r – równowagowa zawartość wody w produkcie (g wody/100 g s.s.),
 u_0 – początkowa zawartość wody w produkcie (g wody/100 g s.s.),
 u_τ – zawartość wody (g wody/100 g s.s.),
 A – współczynnik kształtu,

K – współczynnik opisujący proces dyfuzji wody w badanym materiale (l/min),
 τ – czas (min).

gdzie współczynnik dyfuzji wody w badanym materiale opisuje zależność:

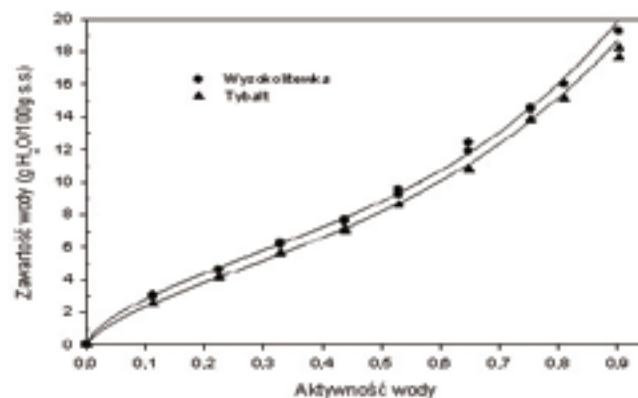
$$K = \frac{D_{ef}}{\left(\frac{L}{2} \right)^2} \quad (10)$$

D_{ef} – efektywny współczynnik dyfuzji (m²/s),
 L – droga dyfuzji (m).

Analizę statystyczną przeprowadzono przy poziomie istotności $\alpha=0,05$, do porównania średnich stosowano test Tukey'a, korzystano z programu Statgraphics Plus 4.1.

OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

Uzyskane izoterm sorpcji wody przez ziarno charakteryzowały się, niezależnie od badanej odmiany pszenicy, przebiegiem sigmoidalnym, był to typ II izoterm według klasyfikacji Brunauera i wsp. [5] (rys. 1).



Rys. 1 Izoterm sorpcji wody ziarna pszenicy odmian Tybalt i Wysokolitewka.

Izoterm tego typu charakteryzują się przegięciem w zakresie niskich aktywności wody i są charakterystyczne dla produktów bogatych w sacharydy i białka. Sigmoidalnym przebiegiem izoterm sorpcji wody charakteryzuje się wiele surowców i produktów spożywczych, m.in.: ziemniaki [13], ziarno kukurydzy [23], nasiona czarnej ciecierzycy [24], ryż [28], słód jęczmienny [2], kakao [18], makaron [1] i płatki śniadaniowe [8].

Do opisu izoterm adsorpcji wody badanego ziarna pszenicy zastosowano sześć modeli: trzy modele dwuparametrowe – model BET Brunauera, Emmetta i Tellera, model Hendersona, model Oswina, dwa modele trójparametrowe – model Lewickiego, model Guggenheima, Andersona i de Boera (GAB) oraz model czteroparametrowy – Pelega. Wyznaczone na podstawie analizy regresji stałe analizowanych modeli izoterm sorpcji wody uzyskane dla ziarna poszczególnych odmian pszenicy zebrano w tabeli 1.

W celu oceny dopasowania modelu do otrzymanych danych doświadczalnych obliczone zostały: średni błąd kwadratowy RMS, współczynnik determinacji r^2 oraz współczynnik χ^2 jako test dopasowania (tab. 2).

Tabela 1. Stałe analizowanych modeli izoterm sorpcji ziarna badanych odmian pszenicy

Model Odmiana pszenicy	GAB			Lewickiego			Pelega				BET		Oswina		Hendersona	
	u_m	C	k	F	G	H	A	B	D	E	u_m	C	h	z	A	B
Bogatka	6,974	6,867	0,747	15,072	0,291	0,778	12,212	2,797	10,521	0,567	5,089	8,832	8,655	0,448	0,025	1,503
Bombona	6,159	6,921	0,787	13,702	0,316	0,797	11,637	3,743	11,926	0,684	4,858	7,656	8,116	0,468	0,032	1,435
Hewilla	6,881	7,762	0,852	14,118	0,301	0,896	11,275	3,498	11,699	0,713	4,795	6,836	7,957	0,476	0,037	1,387
Kobra Plus	7,070	6,993	0,648	15,229	0,286	0,812	11,259	3,400	12,213	0,661	5,176	7,705	8,555	0,456	0,027	1,482
Parabola	6,970	7,047	0,754	14,274	0,307	0,858	12,900	2,700	9,621	0,590	4,779	7,728	8,167	0,476	0,034	1,403
Raweta	6,821	8,678	0,745	14,294	0,313	0,815	12,121	3,367	11,698	0,662	4,988	7,642	8,378	0,47	0,031	1,426
Rywalka	7,164	9,855	0,740	15,097	0,285	0,843	11,821	2,788	10,554	0,610	4,903	8,234	8,386	0,460	0,029	1,457
Tybalt	6,649	10,004	0,832	13,791	0,311	0,843	11,498	3,412	11,433	0,686	4,785	7,199	7,987	0,476	0,035	1,407
Wysoko- litewka	6,609	9,059	0,897	14,279	0,318	0,735	12,479	3,669	12,154	0,634	5,023	9,438	8,671	0,454	0,026	1,484
Vinjett	6,901	7,070	0,808	14,158	0,31	0,857	12,136	3,070	10,886	0,655	4,860	7,194	8,149	0,478	0,035	1,397
Żura	6,971	8,265	0,821	14,546	0,306	0,832	12,121	3,143	11,339	0,649	4,964	7,701	8,394	0,470	0,031	1,425
Orkisz Schwabencorn	6,276	6,946	0,803	12,830	0,353	0,767	14,303	2,916	9,235	0,547	5,020	10,454	8,123	0,482	0,036	1,385

Tabela 2. Ocena dopasowania modeli do uzyskanych wyników eksperymentalnych (średnie wartości RMS, χ^2 oraz r^2)

Model	RMS %	χ^2	r^2
GAB	1,413	0,001	0,998
Lewickiego	1,066	0,000	0,998
Pelega	0,147	0,000	0,999
BET	0,483	0,000	0,997
Oswina	7,531	0,014	0,995
Hendersona	3,038	0,004	0,998

Modelem najlepiej opisującym wszystkie uzyskane w pracy izoterm sorpcji wody okazał się model czteroparametrowy Pelega. Średnia wartość RMS wyniosła 0,147%, co świadczyło o bardzo małych różnicach pomiędzy wartościami wyliczonymi na podstawie modelu matematycznego i wyznaczonymi w sposób eksperymentalny. Średni współczynnik determinacji r^2 dla tego modelu wyniósł 0,999 a $\chi^2=0,000$. Model Pelega stosowany był do badania izoterm sorpcji ryżu [28], makaronu [1] i płatków zbożowych [8]. Stałe fizyczne otrzymane w tych badaniach były zróżnicowane. Stałe uzyskane w tej pracy były najbardziej zbliżone do uzyskanych w pracach Arslan i Tugruli [1] oraz Sinija i Mishra [25] badających izoterm sorpcji makaronu. Jak podaje Lewicki [17] model Pelega opisuje izoterm sorpcji pary wodnej lepiej od modelu GAB. Model Pelega jest odpowiedni do opisu izoterm typu sigmoidalnego, jak i typu III. Równanie to jest sumą dwóch parabol. Pierwsza z nich o osi poziomej odgrywa istotną rolę w izotermach

sigmoidalnych, natomiast druga o osi pionowej dominuje w izotermach III typu, krzywych wklęsłych.

Kolejnymi modelami, które trafnie opisywały izoterm sorpcji wody przez ziarno badanych odmian pszenicy były modele Lewickiego i GAB. Średnie wartości RMS wynosiły kolejno 1,066% dla modelu Lewickiego i 1,413% dla modelu GAB (tab. 2). Uśredniony współczynnik determinacji r^2 , świadczący o poprawności opisanego izoterm, dla obu modeli był taki sam i wyniósł 0,998. Wyniki testu zgodności były bardzo zbliżone, χ^2 dla modelu Lewickiego wyniósł 0,000, a dla modelu GAB 0,001. Wartość parametru C dla modelu GAB była zbliżona do otrzymanego przez Arslana i Togrula [1] i wynosiła od 6,867 dla ziarna pszenicy odmiany Bogatka do 10,004 dla ziarna pszenicy odmiany Tybalt (tab. 1). Stałe C i k wyznaczone z analizy regresji spełniały warunki określone przez Lewickiego [16], które dopuszczają równanie GAB do opisu danych eksperymentalnych pod warunkiem, że $0,24 < k \leq 1$ i $5,67 \leq C \leq \infty$.

Izoterm sorpcji wody przez ziarno pszenicy dobrze opisywały modele Hendersona i Oswina, średnie wartości RMS wynosiły odpowiednio: 3,038% i 7,531%, średnia wartość współczynnika determinacji r^2 dla modelu Hendersona była nieco wyższa (tab. 2). Zostało to potwierdzone uśrednioną wartością testu zgodności χ^2 , która dla wszystkich izoterm opisanych tym modelem wyniosła 0,004. Model Oswina cechował się średnimi wartościami $r^2=0,995$ i $\chi^2=0,014$.

Model BET najlepiej opisuje izoterm sorpcji w przedziale aktywności wody 0,1-0,4 [27], dlatego w niniejszej pracy zastosowano go w ograniczonym zakresie aktywności wody ($0,000 \leq a_w \leq 0,432$). Uśredniona wartość RMS dla tego równania wyniosła 0,483% (tab. 2). Pojemności monowarstwy wyznaczone przy pomocy modeli GAB i BET różniły się – dla

modelu BET były niższe od uzyskanych z modelu GAB. Podobne zależności pomiędzy pojemnościami monowarstwy wyznaczonej z równań BET i GAB dla izoterm przypraw i ziół obserwowali Pałacha i Malczewska [21]. Analiza dopasowania modeli do wyników eksperymentalnych wskazuje, że równanie BET lepiej opisywało izotermę sorpcji pary wodnej, wadą tego modelu jest jednak ograniczony zakres aktywności wody (od 0,000 do 0,432), w którym równanie to może być stosowane.

Tabela 3. Wartości stałych równania Ficka uzyskane z analizy regresji dla ziarna badanych odmian pszenicy

Odmiana pszenicy	Równowagowa zawartość wody u_r g H ₂ O/100 g s.s.	Współczynnik kształtu A	K 1/min
Bogatka	36,796	0,996	6,14·10 ⁻⁴
Bombona	31,741	0,986	5,57·10 ⁻⁴
Hewilla	27,501	0,979	7,00·10 ⁻⁴
Kobra Plus	33,922	0,987	7,69·10 ⁻⁴
Parabola	26,431	0,963	4,85·10 ⁻⁴
Raweta	33,408	0,988	5,23·10 ⁻⁴
Rywalka	34,394	0,984	6,76·10 ⁻⁴
Tybalt	32,625	0,984	5,71·10 ⁻⁴
Wysokolitewka	33,482	0,988	7,23·10 ⁻⁴
Vinjett	32,115	0,986	6,07·10 ⁻⁴
Żura	31,281	0,990	6,67·10 ⁻⁴
Orkisz Schwabencorn	36,846	1,003	5,91·10 ⁻⁴

Tabela 3 przedstawia wartości stałych równania Ficka obliczone z analizy regresji. Otrzymane współczynniki kształtu dla poszczególnych ziaren pszenicy były zbliżone do współczynnika kształtu dla kuli, który wynosi 1. W badaniach przeprowadzonych przez Zdybel i wsp. [29] współczynnik kształtu dla badanych odmian żyta wyniósł 0,99. Współczynnik K obrazujący proces dyfuzji wody (tab. 3) mieścił się w przedziale od 4,51·10⁻⁴ (1/min) dla ziarna pszenicy odmiany Hewilla do 7,69·10⁻⁴ (1/min) dla ziarna pszenicy odmiany Kobra Plus.

Tabela 4. Wybrane właściwości fizyczne i chemiczne ziarna badanych odmian pszenicy

Odmiana pszenicy	Szklistość %	Twardość j.B	Białko ogółem % s.m.	Popiół % s.m.
Bogatka	84	960	14,6	1,71
Bombona	12	680	12,93	1,62
Hewilla	85	935	14,32	1,98
Kobra Plus	6	610	13,41	1,60
Parabola	88	960	13,92	1,73
Raweta	89	860	13,20	1,99
Rywalka	17	720	13,63	1,96
Tybalt	70	900	13,19	1,73
Wysokolitewka	2	585	12,08	1,75
Vinjett	68	870	14,01	1,68
Żura	38	780	11,91	1,79
Orkisz Schwabencorn	18	680	16,81	1,82

Spośród analizowanych w pracy cech fizycznych ziarna pszenicy (tab. 4) z właściwościami sorpcyjnymi najlepiej korelowała zawartość białka i struktura bielma. Współczynnik korelacji pomiędzy zawartością białka w ziarnie pszenicy i pojemnością monowarstwy wynosił -0,65, zaś pomiędzy szklistością bielma i wartością parametru K -0,64 (tab. 5).

Tabela 5. Współczynniki korelacji pomiędzy wybranymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi ziarna pszenicy a właściwościami sorpcyjnymi

	Szklistość	Twardość	Białko ogółem	Popiół
u_m	-0,27	-0,24	-0,65	-0,05
u_r	-0,17	-0,27	0,21	-0,06
K	-0,64	-0,58	-0,55	-0,11

Im bielmo ziarna pszenicy było bardziej szkliste tym dyfuzja wody zachodziła wolniej. Obserwacje te są potwierdzeniem fotografii mikrostruktury bielma pszenicy przedstawionych w pracy Gondek i wsp. [9]. W przypadku bielma szklistego obserwowano zbitą, zwartą matrycę białkową, w której zatopione były ziarna skrobi, natomiast bielmo mączyste cechowało się strukturą luźną, w której ziarna skrobi były oddzielone od siebie licznymi przestrzeniami powietrznymi. W porowatym materiale jakim jest bielmo mączyste występują lepsze warunki dla procesu dyfuzji, woda swobodnie przemieszcza się w głąb materiału, co skutkuje wyższymi wartościami równowagowej zawartości wody. Izotermę sorpcji ziarna o skrajnie zróżnicowanej strukturze bielma odmian pszenicy Tybalt (ziarno szkliste) i Wysokolitewka (ziarno mączyste) przedstawiono na rysunku 1.

WNIOSKI

1. Wyznaczone w pracy izotermę sorpcji pary wodnej ziarna pszenicy cechowały się kształtem sigmoidalnym, z charakterystycznym punktem przegięcia w zakresie niskich aktywności wody. Przebieg ten odpowiadał II typowi izoterm według klasyfikacji Brunauera i wsp.

2. Spośród analizowanych modeli matematycznych do opisu izoterm sorpcji ziarna pszenicy najbardziej nadawał się model Pelega oraz kolejno modele Lewickiego i GAB.

3. Spośród analizowanych właściwości fizycznych i chemicznych ziarna pszenicy na właściwości sorpcyjne największy wpływ miała struktura jego bielma. Ziarno mączyste adsorbowało więcej wody niż szkliste, cechowało się wyższą pojemnością monowarstwy, wyższą równowagową zawartością wody oraz wyższym współczynnikiem dyfuzji wody.

LITERATURA

- [1] ARSLAN N., TOGRUL H. 2005. *Modelling of water sorption isotherms of macaroni stored in a chamber under controlled humidity and thermodynamic approach.* Journal of Food Engineering, 69, 133-145.
- [2] BARREIRO J. A., FERNANDEZ S., SANDOVALB A. J. 2003. *Water sorption characteristics of six row barley malt.* Lebensm.-Wiss. U. Technol., 36, 37-42.
- [3] BOQUET R., CHIRIFE J., IGLESIAS H.A. 1978. *Equations for fitting water sorption isotherms of foods. Part II. Evaluation of various two-parameter models.* Journal of Food Technology, 13(4), 319-327.

- [4] BRUNAUER S., EMMETT P.H., TELLER. 1938. *Adsorption of gases in multilayers*. Journal of the American Chemical Society, 60, 309-319.
- [5] BRUNAUER S., DEMING L. S., DEMING W. E., TELLER E. 1940. *On the theory of van der Waals adsorption of gases*. Journal of the American Chemical Society, 62, 1723-1732.
- [6] ĆWIERKNIERSKI K., POLAK E., EGIERSKI K. 2005. *Aktywność wody parametr trwałości produktów spożywczych*. Przemysł Spożywczy 59(11), 16-19.
- [7] GAŚSIOROWSKI H. 2004. *Morfologia i anatomia ziarniaka. W: Pszenica chemia i technologia (red. GAŚSIOROWSKI H.), PWRiL, Poznań, 141-150.*
- [8] GONDEK E. 2003. *Wymiana masy w produktach typu muesli i jej wpływ na właściwości mechaniczne i akustyczne płatków zbożowych*. Praca doktorska wykonana w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji SGGW.
- [9] GONDEK E., JAKUBCZYK E., CACAK-PIETRZAK G. 2010. *Wpływ aktywności wody na deskryptory emisji akustycznej ziarna pszenicy wyznaczone metodą kontaktową*. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 1 (20/36), 50-54.
- [10] GRZESIUŁ S., KULKA K. 1988. *Biologia ziarniaków zbóż*. PWN, Wrocław, 136-255.
- [11] HENDERSON S. M. 1952. *A basic concept of equilibrium moisture*. Agricultural Engineering, 33, 29-32.
- [12] HORABIK J., MOLEND A. 2000. *Grain pressure in a model silo as affected by moisture content increase*. International Agrophysics, 14 (4), 385-392.
- [13] IGUEDJAL T., LOUKA N., ALLAF K. 2008. *Sorption isotherms of potato slices dried and texturized by controlled sudden decompression*. Journal of Food Engineering, 85, 180-190.
- [14] JAKUBCZYK T., HABER T. (RED.) 1983. *Analiza zbóż i przetworów zbożowych*. Warszawa, Wyd. SGGW-AR.
- [15] LEWICKI P.P. 1973. *Znaczenie izoterm adsorpcji wody produktów spożywczych w technologii żywności*. Przemysł Spożywczy, 27, 503-507.
- [16] LEWICKI P.P. 1997. *The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms*. International Journal of Food Science and Technology, 32, 553-557.
- [17] LEWICKI P.P. 1998. *A three parameter equation for food moisture sorption isotherms*. Journal of Food Process Engineering, 21 (2), 127-144.
- [18] MEDEIROS M. L., IRENE A. M., AYROSA B., MORAES PITOMBO R. N., SILVA LANNES S., N. 2006. *Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products*. Journal of Food Engineering, 73, 402-406.
- [19] OSWIN C.R. 1946. *The kinetics of package life. III. The isotherm*. Journal of Chemical Industry, 65, 419-423.
- [20] PAŁACHA Z. 2008. *Aktywność wody ważny parametr trwałości żywności*. Przemysł Spożywczy, 62(4), 22-26.
- [21] PAŁACHA Z., MALCZEWSKA A. 2010. *Izotermy sorpcji i desorpcji wybranych przypraw*. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 1 (20/36), 12-18.
- [22] PELEG M. 1993. *Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms*. Journal of Food Process Engineering, 16(1), 21-54.
- [23] PENG G., CHEN X., WU W., JIANG X. 2007. *Modelling of water sorption isotherm for corn starch*. Journal of Food Engineering, 80, 562-567.
- [24] SHRIKANT B. S., DAS S. K., MAITI B. 2004. *Moisture sorption isotherms of black gram nuggets (bori) at varied temperatures*. Journal of Food Engineering, 67, 477-482.
- [25] SINIJA V.R., MISHRA H.N. 2008. *Moisture sorption isotherms and heat of sorption of instant (soluble) green tea powder and green tea granules*. Journal of Food Engineering, 86, 494-500.
- [26] SPIESS W.E.L., WOLF W. 1987. *Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms*. In: Water Activity: Theory and Applications to Food (Eds: L. B. Rockland, L. R. Beuchat). CRC Press, New York, 215-234.
- [27] TIMMERMANN E.O., CHIRIFE J., IGLESIAS H.A. 2001. *Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters?* Journal of Food Engineering, 48, 19-31.
- [28] TOGRUL 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.
- [29] ZDYBEL A., GAWŁOWSKI S., LASKOWSKI J. 2009. *Wpływ wilgotności na wybrane właściwości fizyczne ziarna żyta*. Acta Agrophysica, 14 (1): 243-255.

SORPTION PROPERTIES OF WHEAT GRAIN

SUMMARY

Sorption properties of selected varieties of wheat were analyzed in this work. Experimental data were fitted with: BET, GAB, Henderson, Lewicki, Owsin and Peleg models. The obtained curves represented II type of Brunauer et al. isotherm classification. It was shown that: Peleg, Lewicki and GAB models fitted the best experimental data. The shape factor, water diffusion coefficient and equilibrium water content were calculated based on Fick's equation for transient diffusion. It was shown that sorption properties of wheat were mostly determined by its endosperm structure.

Key words: sorption isotherms, sorption kinetics, wheat, water activity, sorption rate.