

B. ARAMOWICZ

Parametry procesu sorpcji pary wodnej w ziarnie pszenicy

WSTĘP

W Zakładzie Fizyki Stosowanej Instytutu Fizyki UMCS prowadzone są od szeregu lat badania transportu wilgoci w ziarnie pszenicy, których celem jest opracowanie metod i układów pomiarowych oraz określenie parametrów sorpcyjno-dyfuzyjnych prób ziarna pszenicy, w warunkach zmiennej temperatury i wilgotności [1–6].

Naturalna wilgotność ziarna zależy od wielu czynników, a wszelkie zabiegi mające na celu uzyskanie do badań wielu prób ziarna o stałej początkowej wilgotności (dosuszanie lub nawilżanie) prowadzą do zmian własności fizykochemicznych i biologicznych ziarna [7]. Aby wyeliminować konieczność wcześniejszego ujednoczenia warunków wilgotnościowych prób ziarna przed pomiarem, zastosowano do badań wodę ciężką D_2O , jako znaczoną. Dzięki temu można obserwować pełne przebiegi kinetyki sorpcji pary wodnej w ziarnie, a także uniknąć destrukcyjnego dla badań fermentowania i pleśnienia ziarna, co ma miejsce w czasie długotrwałych procesów wymiany z udziałem wody naturalnej H_2O .

METODYKA BADAŃ I DOBÓR PRÓB ZIARNA

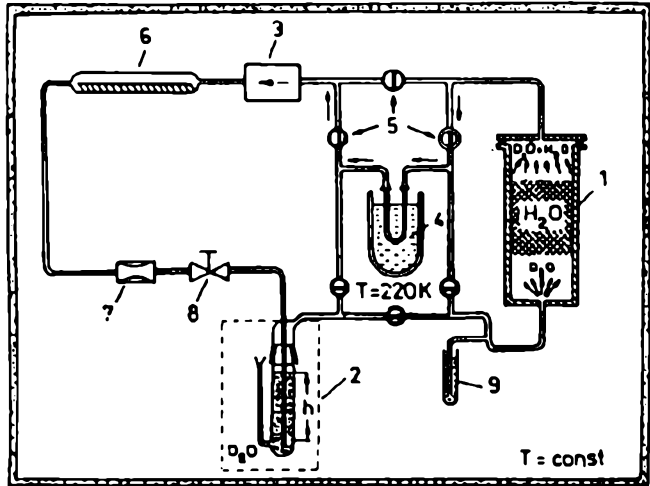
Niniejsza praca ma na celu zbadanie parametrów procesu sorpcji pary wodnej w próbach o zróżnicowanej strukturze endospermu z uwzględnieniem stopnia udziału powierzchni i wnętrza ziarna w tym procesie.

Z ziarna pszenicy jarej odmiany Jara wyselekcjonowano, na podstawie oceny wizualnej, próby o szklistym i mączystym bielmie. Ziarniaki o szklistym typie struktury bielma charakteryzują się wyższą zawartością białka w porównaniu z ziarniakami mączystymi [8].

Badania przeprowadzono w termostатовanym układzie pomiarowym przedstawionym na rycinie 1 [5]. Pomiar polegał na ciągłym nasycaniu strumienia powietrza

Ryc. 1. Schemat układu pomiarowego:

1) cylinder z ziarnem pszenicy, 2) układ nawilżania strumienia powietrza parą D_2O , 3) pompka, 4) układ wymrażający parę wodną D_2O , 5) krany, 6) suszka, 7) przepływomierz, 8) regulator przepływu, 9) manometr kontrolny



(gaz inertny) parą D_2O (adsorbat), a następnie na analizie wilgotności tego strumienia po jego przejściu przez warstwę ziarna, stanowiącą adsorbent. Pomiarzy przeprowadzono w temperaturze $20^{\circ}C$, pod ciśnieniem atmosferycznym. Szczegółowy opis metodyki badań przedstawiony został w pracach [5] i [6].

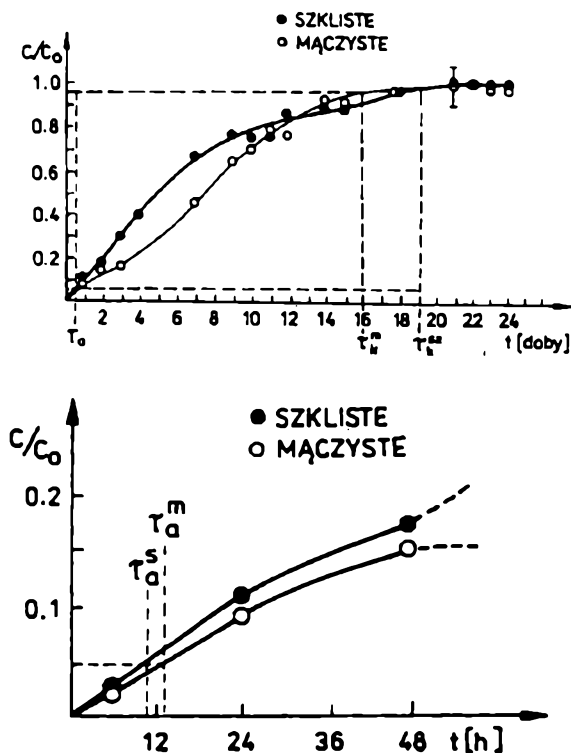
AKTYWNOŚĆ DYNAMICZNA I WIELKOŚĆ ADSORPCJI PARY WODNEJ W ZIARNIE

Przebieg zmian koncentracji pary D_2O w strumieniu powietrza wychodzącego z komory z ziarnem pozwalał znaleźć krzywe kinetyki sorpcji oraz obliczyć wartość wielkości adsorpcji pary D_2O w obu próbach ziarna [9]. Wielkość adsorpcji (zwana czasem aktywnością adsorbenta) jest to maksymalna ilość adsorbentu pochłonięta przez jednostkę masy lub objętości adsorbentu w warunkach wysycenia strumienia inerty danym adsorbentem.

Tab. 1. Parametry sorpcji pary D_2O w ziarnie pszenicy

Ziarno	a_{max} [kg D_2O /m ³ ziarna]	τ_a [h]	a_d [kg D_2O /m ³ ziarna]
Szkliste	$(1,29 \pm 0,12) \cdot 10^2$	11 ± 2	$13,5 \pm 2,0$
Mączyste	$(1,46 \pm 0,15) \cdot 10^2$	12 ± 2	$14,4 \pm 2,2$

Wielkość adsorpcji D_2O w ziarnie mączystym była większa niż w ziarnie szklistym (Tab. 1) [9]. Jest to istotna informacja o zróżnicowaniu struktury wewnętrznej tych prób ziarna. Aby sprawdzić, czy również powierzchnia ziarna obu prób wykazuje zróżnicowanie istotne z punktu widzenia adsorpcji pary wodnej, należy obliczyć wartość aktywności dynamicznej ziarna. Krzywa wyjściowa $C/C_0 = f(t)$ pozwala znaleźć wartość czasu adsorpcji τ_a , za który uważa się czas, w jakim stężenie adsorbentu na wyjściu z warstwy adsorbenta osiąga wartość $C = 0,05 C_0$.



Ryc. 2. Krzywa wyjściowa $C/C_0 = f(t)$ w procesie sorpcji pary D_2O w dwóch próbach ziarna; a) początkowa faza procesu sorpcji z zaznaczonym czasem adsorpcji τ_a

Znając powierzchnię A przekroju poprzecznego warstwy, jej wysokość H , strumień wejściowy adsorbentu $I = \frac{dm}{dt}$ oraz czas adsorpcji τ_a , można obliczyć aktywność dynamiczną warstwy z zależności [10]:

$$a_d = \frac{\tau_a I}{AH}. \quad (1)$$

Okazało się, że nie ma zróżnicowania wartości aktywności dynamicznej dla ziarna szklistego i mączystego (Tab. 1), co świadczy o braku zróżnicowania „wrażliwości adsorpcyjnej” powierzchni tych ziaren względem pary wodnej.

Dla adsorbentów, które nie są ciałami koloidalno-kapilarnymi, (zeolitów, węgla aktywowanego, etc.), aktywność dynamiczna a_d związana jest z wielkością adsorpcji a_{max} zależnością:

$$0,7a_{max} < a_d < 0,9a_{max}. \quad (2)$$

Nierówność ta, spełniona prawostronnie dla obu prób ziarna (Tab. 1), nie jest spełniona lewostronnie z powodu dużej dysproporcji między wielkością adsorpcji

powierzchniowej i sorpcją pary w porach wewnątrz ziarna, której towarzyszy silne zjawisko osmozy.

PRZENOSZENIE FRONTU ADSORPCJI W ZIARNIE

Spośród wielu parametrów sorpcyjnych istnieje grupa opisująca charakter przesuwania się frontu adsorpcji w adsorbencie. Należą do niej zdefiniowane poniżej wielkości:

- prędkość U przesuwania się frontu sorpcji,
- czas ochronnego działania złoża τ_a (czas adsorpcji),
- strata czasu ochronnego działania złoża τ_0 ,
- wysokość frontu adsorpcji H_0 .

Średnią prędkość przesuwania się frontu sorpcji oblicza się znając wartość strumienia I_i gazu inertnego (suche powietrze), koncentrację wejściową C_0 pary D_2O w strumieniu powietrza, powierzchnię przekroju warstwy A oraz wielkość adsorpcji a_{max} :

$$U = \frac{I_i C_0}{A \cdot a_{max}}. \quad (3)$$

Czas adsorpcji zwany jest też czasem ochronnego działania złoża adsorbenta, gdyż w tym czasie adsorbent „eliminuje” dany adsorbat ze strumienia gazu inertnego przepływającego przez adsorbent. Czas ten obliczany jest ze wzoru (1).

Strata czasu ochronnego działania złoża τ_0 jest to czas formowania się frontu sorpcji. W czasie tym pierwsza warstewka przy wlocie gazu ulega nasyceniu adsorbentem. Czas ten oblicza się z równania Szilowa [9]:

$$\tau_0 = \frac{H}{U} - \tau_a, \quad (4)$$

gdzie H jest wysokością warstwy adsorbenta.

Wysokość frontu adsorpcji określa równanie Michaelisa:

$$H_0 = \frac{(\tau_k - \tau_a)(H - H_x)}{\tau_a}, \quad (5)$$

gdzie $H_x = U \cdot \tau_0$ jest wielkością bilansową, zwaną wysokością martwego złoża adsorbenta, zaś τ_k jest czasem zakończenia procesu sorpcji, który odpowiada wartości $C = 0,95C_0$ na krzywej wyjściowej.

Wartości powyższych parametrów obliczone dla obu prób ziarna zawarte są w tabeli 2. Wszystkie zależności obliczone zostały przy założeniu, że front sorpcji przesuwa się równolegle, co oznacza, że krzywe $C = f(h)$ mają w punkcie $C = C_0$ stałe nachylenie $[\frac{\partial C}{\partial h}]_{C=C_0} = \text{const}$.

Równoległe przesuwanie się frontu adsorpcji ma miejsce w większości adsorbentów. Uzyskane wyniki badań procesu sorpcji pary wodnej w ziarnie dowodzą z całą

Tab. 2. Parametry opisujące formowanie i przesuwanie się frontu adsorpcji pary wodnej w ziarnie

Ziarno pszenicy	U [m/s]	τ_0 (doby)	τ_k (doby)	H_0 (m)
Szkliste	$(1,58 \pm 0,38) \cdot 10^{-7}$	$3,9 \pm 1,0$	$19 \pm 1,0$	$0,25 \pm 0,04$
Mączyste	$(1,39 \pm 0,29) \cdot 10^{-7}$	$4,5 \pm 1,2$	$16 \pm 0,5$	$0,19 \pm 0,03$

pewnością, że ten typ sorpcji nie występuje w żadnej z przebadanych prób. Można tu mówić o rozmyciu frontu adsorpcji i jest ono silniejsze dla ziarna mączystego niż szklistego. Wynika stąd, że prędkość frontu adsorpcji pary wodnej w ziarnie maleje, a pod koniec procesu spełnia warunek:

$$U^M < (4,5 \pm 0,7) \cdot 10^{-8} \text{ m/s} \quad \text{dla ziarna mączystego}$$

$$U^{SZ} < (3,8 \pm 0,6) \cdot 10^{-8} \text{ m/s} \quad \text{dla ziarna szklistego}$$

spadając co najmniej trzykrotnie w stosunku do prędkości w pierwszym etapie procesu. Świadczy to o przewadze zjawiska osmozy nad zjawiskiem adsorpcji fizycznej w porach wewnątrz ziaren. Przewaga ta jest silniejsza w ziarnie mączystym zawierającym mniej białka całkowitego niż ziarno szkliste [8].

Należy zauważyć, że analiza wyznaczonych parametrów dynamiki sorpcji pary wodnej w ziarnie pozwoliła określić charakter przesuwania się frontu sorpcji na podstawie jednego eksperymentu, bez konieczności niezwykle uciążliwego metodycznie i aparaturowo znajdowania pęku krzywych $C = f(h)$ dla różnych czasów trwania procesu.

LITERATURA

- [1] Adamczyk B., Aramowicz B., Staszewski P., *VII Yugoslav-Polish Symposium, Zemun, 2-3 October 1984*, 24.
- [2] Adamczyk B., Aramowicz B., Staszewski P., *Physik und Landwirtschaft. Beiträge der 3. Wissenschaftlichen Tagung-Agrophysik, vom 3. bis 6. Dezember 1984 in Schloss Reihardsbrun, DDR*, 124.
- [3] Aramowicz B., Adamczyk B., Musur A., *VIII Polsko-Węgierska Konferencja Naukowa: Mechanical Properties of Agricultural Materials, Lublin, VI 1986, Summary of papers*, 1.
- [4] Adamczyk B., Aramowicz B., *4. Tagung-Agrophysik vom 30.9. bis 3.4. 1987 in Rostock (DDR), Kurzfassung der Vorträge und Poster*, 1.
- [5] Aramowicz B., Adamczyk B., Musur A., *4th International Conference Physical Properties of Agricultural Materials and their Influence on Technological Processes, Rostock (GDR), 4-8 September 1989, vol. 1 (1989)*, 20.
- [6] Aramowicz B., Adamczyk B., Musur A., *Z. Probl. Post. Nauk Roln.*, 378 (1990), 7.
- [7] Kamiński W., Al-Bezweni M., *Materiały VII Sympozjum Suszarnictwa, Spała, 24-26 czerwca 1991, t. 1*, 10.
- [8] Grundas S., *Probl. Agrofl.*, 54 (1987).
- [9] Aramowicz B., Adamczyk B., Musur A., *Tretija Nacionaljen Simpozijum Fizika-Sielskostopansko Proizvodstvo, Pleven (Bulgaria), 28-30 Sept. 1988 (1989)*, 70.
- [10] Ziółkowski Z., *Procesy dyfuzyjne i termodynamiczne*, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1977.

