

Hanna Kowalska, Ewa Domian, Monika Janowicz, Andrzej Lenart
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

KINETYKA ADSORPCJI PARY WODNEJ PRZEZ AGLOMERATY WYBRANYCH MIESZANIN PROSZKÓW SPOŻYWCZYCH

Streszczenie

Badano kinetykę adsorpcji pary wodnej przez mieszaniny proszków spożywczych i ich aglomeraty otrzymane w *pneumatycznie* generowanym złożu fluidalnym (metoda fluidalna) oraz w *mechanicznie* generowanym złożu fluidalnym (metoda mechaniczna). Mieszaniny sporządzono z produktów w proszku, takich, jakich jak serwatka, izolat białek serwatkowych, izolat sojowy, glukoza oraz tłuszcz palmowy płynny i sproszkowany. Aglomeracja badanych mieszanin spowodowała obniżenie adsorpcji pary wodnej w porównaniu z mieszaninami nieaglomerowanymi. Aglomeraty otrzymane metodą mechaniczną charakteryzowały się większą zdolnością chłonięcia wody w porównaniu z aglomeratami uzyskanymi metodą fluidalną. Obecność sproszkowanego tłuszczu w aglomeracie otrzymanym metodą mechaniczną spowodowała obniżenie zdolności chłonięcia wody w porównaniu z metodą fluidalną.

Słowa kluczowe: proszki spożywcze, aglomeracja, złoże fluidalne

Wprowadzenie

Obecnie żywność w proszku stanowi wygodną formę produktów trwałych i łatwych w dalszych operacjach technologicznych i transporcie. Podejmowane są badania prowadzące do uzyskania mieszanin proszków o walorach zbliżonych do proszku mlecznego. Na stabilność przechowalniczą proszków ma wpływ stosunkowo niska zawartość wody (ok. 5-10%). Woda jest jednak głównym czynnikiem decydujących o szybkości zmian chemicznych, fizycznych i mikrobiologicznych. Wrażliwość produktów na wilgoć i ich zdolność chłonięcia wody może być określona na podstawie kinetyki adsorpcji [Al-Muhtaseb i in. 2004].

Przyjmuje się, że przy niskiej aktywności wody ($\leq 0,3$) siła wiązania cząsteczek wody uzależniona jest od rozmieszczenia i rodzaju grup hydrofilowych na powierzchni adsorbentu. Przy wyższych aktywnościach wody adsorpcja ma charakter wielowarstwowy, przy czym maleje stopniowo energia wiązania wody i następuje

kondensacja kapilarna, czyli wypełnianie porów w produkcie oraz procesy rozpuszczania ($a_w > 0,65$). Przebieg adsorpcji pary wodnej przez różne produkty został opisany matematycznie i wyróżniono różne typy adsorpcji [Lopez i in. 1995; Domian i Lenart 1996; McMinn i Magee 1999; Timmermann i in. 2001; Al-Muhtaseb i in. 2004]. Zdolność chłonięcia wody aglomeratów w dużym stopniu może być przydatna do projektowania procesów technologicznych (suszenia, pakowania, przechowywania).

Celem pracy było porównanie kinetyki adsorpcji pary wodnej przez aglomeraty otrzymane z mieszanin proszków spożywczych metodą aglomeracji nawilżeniowej poprzez mieszanie w pneumatycznie i mechanicznie generowanym złożu fluidalnym z uwzględnieniem wpływu metody aglomeracji i składu mieszaniny.

Metodyka

Aglomerację w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym (metoda fluidalna) przeprowadzono w aglomeratorze STREA 1/Nitro-Aeromatic AG. Aglomerację w mechanicznie generowanym złożu fluidalnym (metoda mechaniczna) przeprowadzono w laboratoryjnym mieszalniku lemieszowym, służącym do granulacji substancji sypkich firmy Lödige typ L5 (Lödige Plugshare Mixer). Cieczą nawilżającą podczas aglomeracji była woda, którą dodawano w ilości 20 g na 100g aglomerowanej mieszaniny.

Materiałem do badań były produkty w proszku, takie jak proszek mleczny PM, serwatka S, izolat białek serwatkowych BSW, izolat sojowy BSJ, glukoza. Sporządzono z nich mieszaniny z następującym udziałem masowym poszczególnych składników:

- PM (100%): laktoza 50%, białko (kazeina) 37%, tłuszcz 1%, popiół 8%, woda 4%
- A (S - 0,66; BSJ - 0,34)
- B (BSW - 0,165; BSJ - 0,34; G - 0,495)
- E (S - 0,49; BSJ 0,25; tłuszcz płynny palmowy - 0,26) - odpowiadająca składem mieszaninie A; aglomerowana tłuszczem
- F (S 49%, BSJ 25%, tłuszcz sproszkowany palmowy - 0,26) - odpowiadająca składem mieszaninie A, ale z dodatkiem tłuszczu.

Mieszaniny PM, A, B charakteryzowały się podobną ogólną zawartością białka i węglowodanów, odpowiednio 50 i 37%. Mieszaniny E i F oprócz białka 39% i węglowodanów 26%, zawierały 26% tłuszczu.

Kinetykę adsorpcji pary wodnej oznaczano korzystając ze stanowiska umożliwiającego pomiar i komputerowy zapis zmian masy próbki w środowisku o wilgotności względnej 0,8 (warunki przechowywania w atmosferze nasyconego roztworu $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ w stałej temperaturze 25°C w czasie do 30 godzin [Soerensen i in. 1978]. Przed wykonaniem badań próbki dosuszano w temperaturze 50°C pod obniżonym ciśnieniem w czasie 20 godzin.

Interpretacja wyników kinetyki adsorpcji pary wodnej została przeprowadzona na podstawie krzywych kinetycznych obrazujących zależność ilości zaadsorbowanej wody u [g/100g s.s.] w funkcji czasu t [h] oraz krzywych szybkości adsorpcji pary wodnej du/dt [g/(g s.s.·h)] w funkcji zawartości wody u [g/100g s.s.] na podstawie równań:

$$u = u_e \cdot (1 - \exp^{-k \cdot t}) \quad \text{oraz} \quad \frac{du}{dt} = k \cdot u_e \exp^{-k \cdot t} \quad (1)$$

gdzie:

- u – zawartość wody po czasie t , g/100g s.s.;
- u_e – ilość zaadsorbowanej wody po czasie 30 h, g/100g s.s.;
- t – czas, h;
- k – stała szybkości adsorpcji, 1/h.

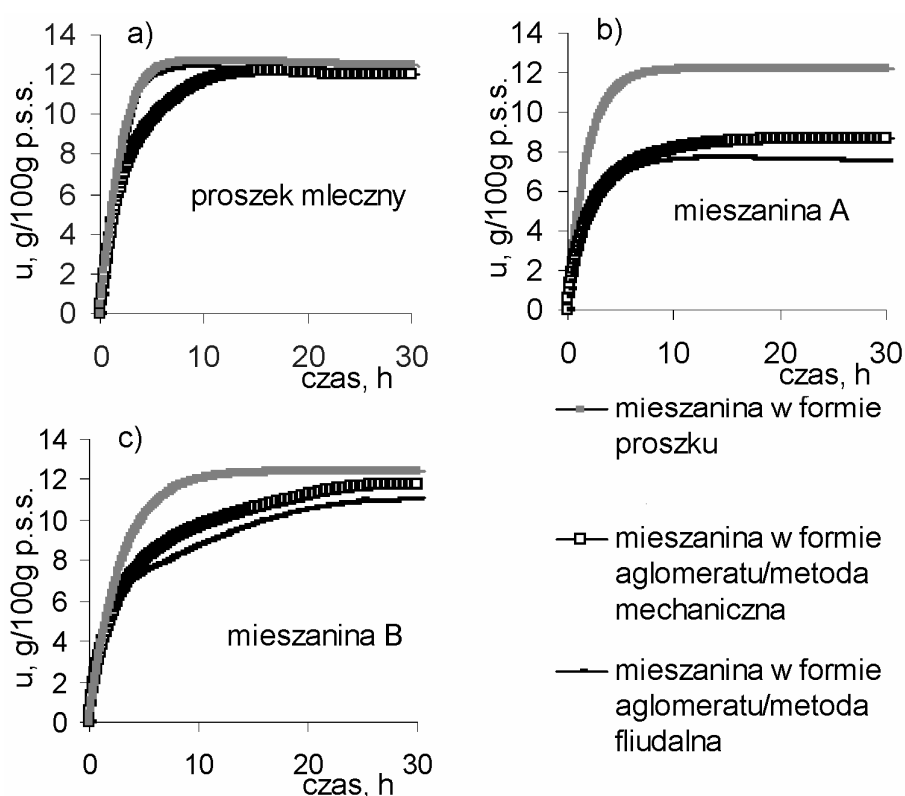
Ponadto analizowano higroskopijność badanego materiału określoną jako ilość zaadsorbowanej pary wodnej u [g/100g s.s.] po 30 godzinach przetrzymywania próbek w atmosferze powietrza o wilgotności względnej 0,8.

Omówienie wyników

Aglomeracja badanych mieszanin proszków spożywczych, niezależnie od zastosowanej metody, miała istotny wpływ na kinetykę adsorpcji pary wodnej (rys. 1-3), higroskopijność oraz szybkość adsorpcji.

Aglomeracja proszku mlecznego spowodowała częściowe obniżenie adsorpcji pary wodnej w porównaniu z proszkiem nieaglomerowanym. Kinetyka adsorpcji pary wodnej przez proszek mleczny przebiegała w sposób zbliżony do kinetyki adsorpcji pary wodnej przez aglomerat proszku mlecznego otrzymany metodą fluidalną (rys. 1a). Aglomerat proszku mlecznego otrzymany metodą mechaniczną charakteryzował się bardziej ograniczoną adsorpcją pary wodnej w porównaniu z aglomeratem otrzymanym metodą fluidalną, szczególnie w czasie do około 10 godzin. Po dłuższym czasie nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy ilością

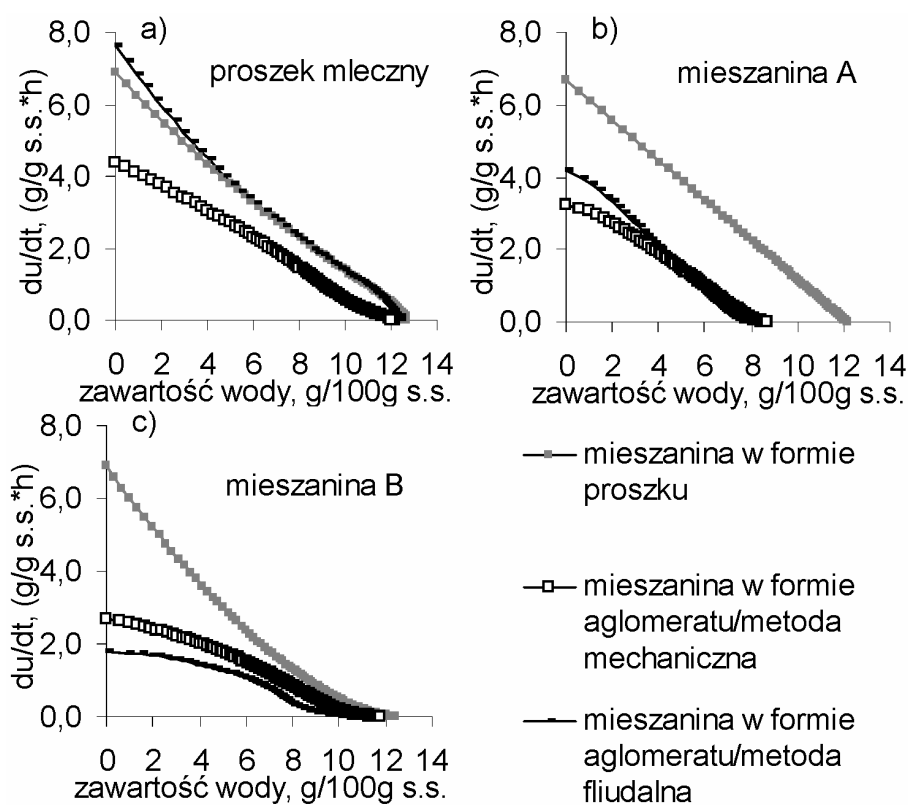
zaadsorbowanej wody. Niezależnie od składu mieszaniny metoda aglomeracji miała istotny wpływ na przebieg kinetyki adsorpcji pary wodnej. Aglomeraty białkowo-węglowodanowych mieszanin A i B otrzymane metodą mechaniczną charakteryzowały się większą zdolnością chłonięcia wody w porównaniu z aglomeratami uzyskanymi metodą fluidalną (rys. 1c). Jednocześnie proces granulacji obu mieszanin spowodował znaczne obniżenie adsorpcji pary wodnej w porównaniu do mieszanin nieaglomerowanych. Obniżenie zdolności adsorpcji pary wodnej przez mieszaninę A w porównaniu z mieszaniną B (do około 50-58%) wynika z obecności glukozy krystalicznej w mieszaninie B.



Rys. 1. Wpływ aglomeracji na kinetykę adsorpcji pary wodnej: a) proszku mlecznego, b) mieszaniny A, c) - mieszaniny B

Fig. 1. Impact of agglomeration on water vapour adsorption kinetics of: a) powdered milk, b) mixture A, c) - mixture B

Największą szybkością adsorpcji pary wodnej w zależności od zawartości wody charakteryzował się aglomerat proszku mlecznego otrzymany metodą fluidalną, który na początku adsorpcji wynosił około 7,6 g/(g s.s.·h)) (rys. 2a). Jednocześnie szybkość ta była bardzo zbliżona do wartości uzyskanej przez proszek mleczny nieaglomerowany. Znacznie mniejszą szybkością adsorpcji pary wodnej charakteryzował się aglomerat otrzymany metodą mechaniczną, bo wynosił około 4,4 g/(g s.s.·h) w początkowym czasie adsorpcji. Podobnie przy zawartości wody około 6,0 g/g p.s.s. szybkość adsorpcji pary wodnej wynosiła około 3,2 g/(g s.s.·h) dla proszku mlecznego i aglomerowanego fluidalnie oraz mniej, tj. około 2,2 g/(g s.s.·h) mechanicznie.

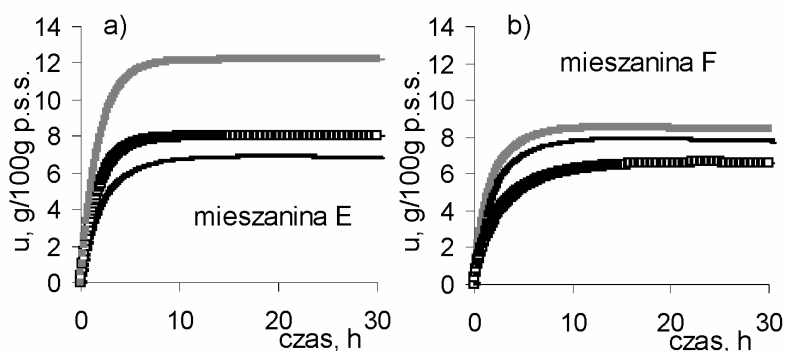


Rys. 2. Wpływ aglomeracji na szybkość adsorpcji pary wodnej: a) proszku mlecznego, b) mieszaniny A, c) - mieszaniny B

Fig. 2. Impact of agglomeration on the speed of water vapour adsorption a) powdered milk, b) mixture A, c) – mixture B

Aglomeracja mieszanin A i B wpłynęła na znaczne obniżenie szybkości adsorpcji pary wodnej w porównaniu z mieszaninami nieaglomerowanymi, gdzie na początku adsorpcji był około 2-krotnie w przypadku mieszaniny A i około 3-krotnie w mieszaninie B (rys. 2b,c). Metoda zastosowanej aglomeracji miała wpływ na uzyskane szybkości adsorpcji pary wodnej w obu badanych mieszaninach, ale głównie na początku procesu. Większe różnice zaobserwowano w przypadku mieszaniny B, gdzie najmniejszą szybkość wykazano w metodzie fluidalnej. Przy zawartości wody około 6,0 g/g p.s.s. szybkość adsorpcji pary wodnej mieszaniny A wynosiła około 3,4 g/(g s.s.·h) oraz około 1,0 g/(g s.s.·h) w jej aglomeratach.

Obecność tłuszczu w aglomeratach F i E wpłynęła na obniżenie ilości zaadsorbowanej wody w porównaniu z mieszaninami w formie proszku (rys. 3). Aglomeracja metodą fluidalną mieszaniny A za pomocą płynnego tłuszczu palmowego o właściwościach hydrofobowych spowodowała znacznie większe obniżenie szybkości chłonięcia pary wodnej w porównaniu z metodą mechaniczną. W przypadku mieszaniny F tłuszcz palmowy w postaci proszku dodany przed aglomeracją mechaniczną spowodował większe obniżenie zdolności chłonięcia pary wodnej w porównaniu z metodą fluidalną (rys. 3b).

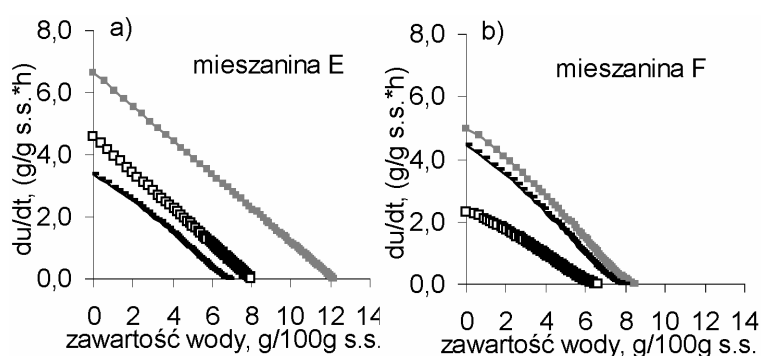


Rys. 3. Wpływ aglomeracji na kinetykę adsorpcji pary wodnej: a) mieszaniny E, b) mieszaniny F. Legenda jak na rys. 1

Fig. 3. Impact of agglomeration on water vapour adsorption kinetics of: a) mixture E, b) mixture F. For legend see Fig. 1

Szybkość adsorpcji pary wodnej na początku procesu w aglomeratach E i F przebiegała w sposób zbliżony do ich kinetyki adsorpcji (rys. 3, 4). Aglomeracja mieszaniny A metodą fluidalną tłuszczem płynnym (około 3,4 g/(g s.s.·h))

spowodowała obniżenie zdolności adsorpcji pary wodnej w porównaniu z granulatem aglomerowanym wodą (około 4,2 g/(g s.s.·h)) (rys. 2b, 4a). Natomiast stosując metodę mechaniczną uzyskano zależność odwrotną. Aglomerowanie tłuszczem spowodowało uzyskanie większej szybkości adsorpcji (około 4,6 g/(g s.s.·h)) w porównaniu z aglomeracją wodą (około 3,2 g/(g s.s.·h)).



Rys. 4. Wpływ aglomeracji na szybkość adsorpcji pary wodnej: a) mieszaniny E, b) mieszaniny F. Legenda jak na rys. 1

Fig. 4. Impact of agglomeration on the speed of water vapour adsorption of: a) mixture E, b) mixture F. For legend see Fig. 1

Analizując higroskopijność badanych mieszanin i aglomeratów, największą zawartością wody charakteryzował się proszek mleczny i jego granulaty (około 12,0 g/100g s.s.) (rys. 1a) oraz mieszanina B (około 12,4 g/(g s.s.)) i jej granulaty (rys. 1c) otrzymane metodą mechaniczną (około 11,8 g/100g s.s.) oraz około 10% mniejszą uzyskany metodą fluidalną. Higroskopijność mieszanin i granulatów A, E i F mieściła się w zakresie od 6,6-8,8 g/(g s.s.).

Ich higroskopijność po 30 godzinach przetrzymywania w środowisku o wilgotności względnej 0,8 wynosiła około 7,7 g/100g s.s. Natomiast w przypadku granulatów mieszaniny B zawartość wody wynosiła około 11,4 g/100g s.s. i była zbliżona do wartości otrzymanych przez proszek mleczny.

Wnioski

1. Aglomeracja proszku mlecznego i badanych mieszanin węglowodanowo-białkowych spowodowała obniżenie adsorpcji pary wodnej w porównaniu z mieszaninami nieaglomerowanymi.

Hanna Kowalska, Ewa Domian, Monika Janowicz, Andrzej Lenart

2. Granulaty mieszanin węglowodanowo-białkowych aglomerowanych wodą (A, B) i tłuszczem płynnym (E) otrzymane metodą aglomeracji mechanicznej charakteryzowały się większą zdolnością chłonięcia wody w porównaniu z aglomeratami uzyskanymi metodą fluidalną. Obecność sproszkowanego tłuszczu w aglomeracie otrzymanym metodą mechaniczną spowodowała obniżenie zdolności chłonięcia wody w porównaniu z metodą fluidalną.
3. Higroskopijność aglomeratów mieszanin węglowodanowo-białkowych nawilżanych wodą i tłuszczem płynnym otrzymanych w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym była mniejsza w porównaniu do aglomeratów otrzymanych w mechanicznie generowanym złożu fluidalnym.

Bibliografia

Al-Muhtaseb A.H., McMinn W.A.M., Magee T.R.A. 2004. Water sorption isotherms of starch powders..Part 1: Mathematical description of experimental data, *Journal of Food Engineering*. 61, 3, s. 297-307.

Domian E., Lenart A. 1996. Effect of the agglomeration on adsorption properties of milk powders. *Drying' 96 - Proceeding of the 10th International Drying Symposium*, Kraków, Poland, vol. B, s. 763-770.

Lopez M. Pique M.T. Clop M. Tasis J. Romero A. Boatella J. Garcia J. 1995. The hygroscopic behaviour of th hazelnut. *Journal of Food Engineering*. 25, s. 197-208.

McMinn, W.A.M., Magee T.R.A. 1999. Studies on the effect of temperature on the moisture sorption characteristics of potatoes. *Journal of Food Process Engineering*, 22 s. 113-128.

Soerensen J.H., Krag J., Pisecky J. Westergaard V. 1978. *Analytical methods for dry milk products*. A/S Niro Atomizer Copenhagn. Denmark.

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 s. 19-31.

Badania w ramach pracy naukowej finansowanej ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2003-2005 (projekt badawczy nr 3 P06T 041 25)

**ADSORPTION KINETICS OF WATER VAPOUR
BY AGGLOMERATES OF SELECTED MIXTURES
OF FOOD POWDERS**

Summary

The research dealt with adsorption kinetics of water vapour by mixtures of food powders and their agglomerates obtained in *pneumatically* generated fluid bed (fluid method) and in *mechanically* generated fluid bed (mechanical method). The mixtures were prepared from powdered products such as whey, whey protein isolates, soy isolate, glucose, as well as fluid and powdered palm oil. Agglomeration of the examined mixtures resulted in reduction of water vapour adsorption, compared to non-agglomerated mixtures. The agglomerates obtained by using the mechanical method were characterized by greater capacity for water absorption when compared to the agglomerates obtained by the fluid method. The presence of powdered fat in the agglomerate obtained by using the mechanical method resulted in the decreased capacity for water absorption in comparison to the fluid method.

Key words: food powders, agglomeration, fluid bed