

SORPCJA PARY WODNEJ PRZEZ MIESZANINY PROSZKÓW SPOŻYWCZYCH I ICH AGLOMERATÓW*

Karolina Szulc, Andrzej Lenart

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa
e-mail: karolina_szulc@sggw.pl

Streszczenie. W niniejszej pracy wyznaczano przebieg izoterm i kinetyki adsorpcji pary wodnej przez mieszaniny proszków spożywczych i ich aglomeraty otrzymane metodą nawilżenia w złożu fluidalnym wytwarzanym pneumatycznie lub mechanicznie. Mieszaniny sporządzono z produktów w proszku takich jak: proszek mleczny, cukier puder, kaszka ryżowa i proszek truskawkowy. Wzorcem do ustalenia składu mieszanin były odżywki dla dzieci w proszku dostępne na polskim rynku. Wpływ aglomeracji wodą w złożu fluidalnym na adsorpcję pary wodnej wieloskładnikowej żywności w proszku uzależniony był od jej charakteru. Efekt zmian w kierunku zmniejszenia zdolności adsorpcji pary wodnej przez aglomeraty mieszanin sproszkowanych odżywek dla dzieci zależał głównie od ich składu, a w mniejszym stopniu od ich struktury związanej z metodą aglomeracji i rodzajem cieczy nawilżającej zastosowanej w procesie.

Słowa kluczowe: izotermy, kinetyka adsorpcji, aglomeracja, proszki spożywcze

WSTĘP

Zawartość wody jest jednym z czynników decydujących o nasileniu zmian chemicznych, fizycznych i mikrobiologicznych, co wpływa na stabilność przechowalniczą żywności suszonej (Al-Muhtaseb i in. 2004, Peng i in. 2007, Sinija i Mishra 2008).

Sorpcja pary wodnej na powierzchni artykułu żywnościowego może mieć charakter fizyczny lub chemiczny, a zaadsorbowana wilgoć może zajmować jed-

* Praca finansowana ze środków MNiSW na naukę w latach 2007-2009 jako projekt badawczy.

ną lub kilka warstw. Izoterm sorpcji pary wodnej umożliwiają charakterystykę mikrostruktury oraz teoretyczną interpretację zjawisk fizycznych zachodzących na powierzchni kontaktu żywność – substancja lotna (Medeiros i in. 2006). Produkty w formie sypkiej mają złożoną budowę i strukturę, włączając zdolne do krystalizacji substancje rozpuszczalne, takie jak cukier, które podczas adsorpcji pary wodnej zmieniają się w substancje krystaliczne (Mathlouthi i Roge 2003).

Większość produktów spożywczych to substancje o złożonym składzie chemicznym i niejednorodnej strukturze, a więc eksperymentalne wyznaczanie izoterm sorpcji jest konieczne, gdyż teoretyczne przewidywanie ich przebiegu jest utrudnione. Znajomość izoterm i kinetyki sorpcji jest niezbędna do ustalenia optymalnych warunków przechowywania żywności suszonej oraz doboru odpowiednich opakowań (Foster i in. 2005, Sukumar i in. 2002). Izoterm sorpcji są wykorzystywane przy mieszaniu suchej żywności w proszku o różnej higroskopijności (koncentratów, ciast, odżywek, napojów). W hermetycznie zamkniętej mieszance wieloskładnikowej ustala się równowaga aktywności wody przez przenikanie pary wodnej w materiale. Zwiększanie zawartości wody w składnikach o mniejszej aktywności odzwierciedla izoterma adsorpcji, a zmniejszanie wilgotności – izoterma desorpcji (Sikorski 2003). Izoterm sorpcji w przetwórstwie żywności znajdują zastosowanie podczas projektowania procesów technologicznych (suszenia, nawilżania, pakowania) (Kowalska i in. 2005b).

Wrażliwość produktów suszonych na wilgoć i zdolność chłonięcia wody może być określana na podstawie kinetyki sorpcji, czyli zależności przyrostu zawartości wody w żywności w proszku od czasu procesu. Kształt kinetyki adsorpcji zależy od składu żywności w proszku oraz parametrów pomiaru (temperatury i wilgotności względnej środowiska) (Kowalska i in. 2005a, Kowalska i Lenart 2005).

Celem pracy było określenie wpływu aglomeracji nawilżeniowej na adsorpcję pary wodnej mieszanin proszków spożywczych z uwzględnieniem metody aglomeracji, rodzaju zastosowanej cieczy nawilżającej i składu mieszaniny.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły proszki spożywcze dostępne na rynku: mleko pełne w proszku (MP), cukier puder (CP), kaszka ryżowa (KR), i proszek truskawkowy (PT). Sporządzono z nich mieszaniny z następującym udziałem masowym poszczególnych składników:

- A (CP – 25%, KR – 73%, PT – 2%),
- B (MP – 40%, CP – 25%, KR – 33%, PT – 2%),
- C (MP – 73%, CP – 25%, PT – 2%).

Agglomerację w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym (metoda fluidalna) przeprowadzono w aglomeratorze STREA (Niro-Aeromatic AG). Aglo-

merację w mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym (metoda mechaniczna) wykonano w laboratoryjnym mieszalniku lemieszowym, służącym do granulacji substancji sypkich firmy Lödige, typ 5 (Lödige Plughshare Mixer). Cieczą nawilżającą podczas aglomeracji była woda (metoda fluidalna i mechaniczna) oraz 2% wodny roztwór lecytyny i 50% wodny roztwór cukru (metoda fluidalna). Ciecz nawilżającą dodawano w ilości 50 ml na 300 g mieszaniny.

Izotermy adsorpcji pary wodnej wyznaczano metodą statyczno-eksykatorową. Badane produkty umieszczano w ekzykatorach. Jako czynniki higrostatyczne zastosowano nasycone roztwory soli. Produkty przechowywano w stałej wilgotności względnej 0,0-0,9 przez 3 miesiące. Na podstawie zmian masy określano zawartość wody w produktach po przechowywaniu. Przed wykonaniem badań próbki dosuszano w temp. 70°C przez 24 godz.

Kinetykę adsorpcji pary wodnej oznaczano korzystając ze stanowiska umożliwiającego ciągły pomiar i komputerowy zapis zmian masy próbki w środowisku o aktywności wody 0,75 (nasycony roztwór NaCl) i w stałej temp. 25°C w ciągu 24 godzin. Przed wykonaniem badań próbki dosuszano w temp. 70°C przez 24 godziny.

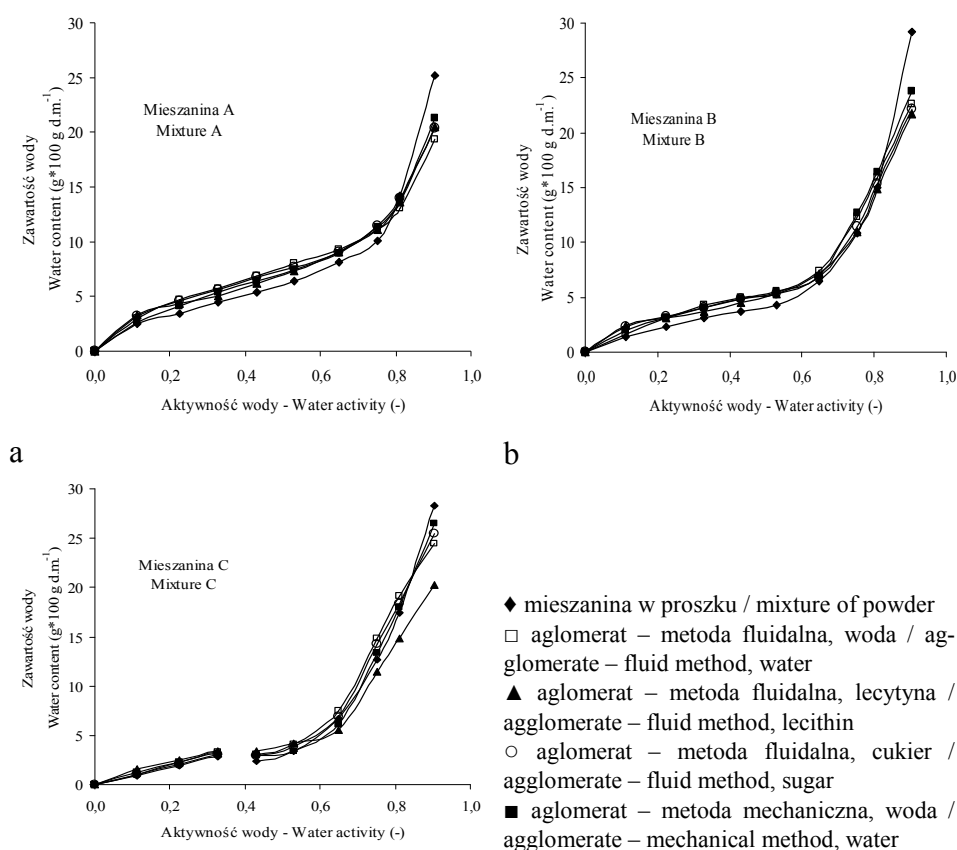
WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Izotermy adsorpcji pary wodnej mieszanin i ich aglomeratów miały charakterystyczny sigmoidalny przebieg.

Zaobserwowano istotny wpływ aglomeracji na przebieg izoterm mieszaniny A, w której frakcją dominującą była kaszka ryżowa 73%. Otrzymane aglomeraty w przedziale aktywności wody 0,0-0,81 charakteryzowały się wyższą zdolnością adsorpcji pary wodnej z otaczającego środowiska w stosunku do mieszaniny A przed aglomeracją. Dopiero przy aktywności wody powyżej 0,81 wystąpiła odwrotna tendencja. Pojemność monowarstwy (przy aktywności wody 0,33) wynosiła 4,46 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ dla mieszaniny A przed aglomeracją oraz 5,01-5,74 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ w aglomeratach otrzymanych metodą fluidalną i 5,34 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ w aglomeracie otrzymanym metodą mechaniczną (rys. 1a). Równowagowa zawartość wody przy aktywności wody 0,75 zawierała się w zakresie 10,03-11,49 g H₂O·100 g s.s.⁻¹, a przy aktywności wody 0,81 wynosiła od 13,00-14,24 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ i nie zależała od aglomeracji. Nie zaobserwowano istotnego wpływu metody aglomeracji i rodzaju cieczy nawilżającej na przebieg izoterm adsorpcji pary wodnej mieszaniny A (rys. 1a).

W przypadku mieszaniny B zaobserwowano, że aglomeracja spowodowała podwyższenie adsorpcji pary wodnej w zakresie aktywności wody od 0,0 do 0,75. Równowagowa zawartość wody przy aktywności wody 0,33 wynosiła 3,13 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ w przypadku mieszaniny B nieaglomerowanej, 3,73-4,26 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ dla aglomeratów otrzymanych metodą fluidalną i 4,05 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ w przypadku aglomeratu uzyskanego metodą mechaniczną. Przy aktywności wody 0,75 uzyskano

równowagowa zawartość wody odpowiednio 10,99-12,29 i 12,72 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ w aglomeratach mieszaniny B otrzymanych metodą fluidalną i mechaniczną oraz 10,85 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ w mieszaninie B w formie proszku. Równowagowa zawartość wody przy aktywności wody 0,81 dla mieszaniny B i otrzymanych z niej aglomeratów mieściła się w zakresie 14,93-16,33 g H₂O·100 g s.s.⁻¹. Nie zaobserwowano istotnego wpływu metody aglomeracji i rodzaju cieczy nawilżającej na przebieg izoterm adsorpcji pary wodnej mieszaniny B (rys. 1b).



Rys. 1. Wpływ aglomeracji na przebieg izoterm adsorpcji pary wodnej: a) mieszanina A, b) mieszanina B, c) mieszanina C

Fig. 1. Effect of agglomeration on water vapour adsorption isotherms: a) mixture A, b) mixture B, c) mixture C

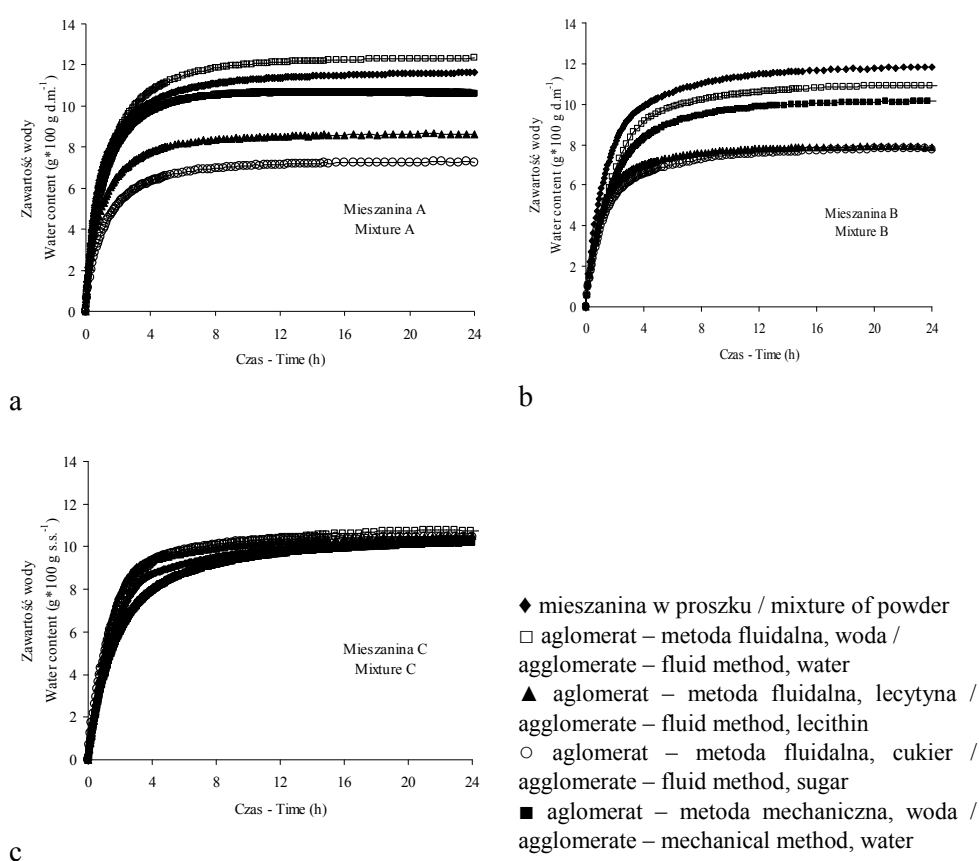
Wzrost dodatku mleka w proszku (73%) w mieszaninie C wpłynął na powstanie nieciągłości izoterm adsorpcji pary wodnej w zakresie aktywności wody 0,33-

0,43 zarówno w mieszaninie C, jak również otrzymanych aglomeratach niezależnie od metody aglomeracji i zastosowanej cieczy nawilżającej (woda, 2% wodny roztwór lecytyny, 50% wodny roztwór cukru) (rys. 1c). Zawarta w proszku mlecznym krystaliczna laktoza w wyniku przemian fizycznych uległa przekształceniu do formy bezpostaciowej (amorficznej), stąd występująca nieciągłość w przebiegu izoterm. W zakresie aktywności wody 0,0-0,53 aglomeracja mieszaniny C powodowała wzrost adsorpcji pary wodnej z otaczającego środowiska niezależnie od metody aglomeracji i zastosowanej cieczy nawilżającej. Przy aktywności wody 0,33 równowagowa zawartość wody dla mieszaniny C w formie proszku wynosiła 2,85 g H₂O·100 g s.s.⁻¹, 3,06-3,39 g H₂O·100 g s.s.⁻¹, dla aglomeratów otrzymanych metodą fluidalną i 3,19 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ dla aglomeratu powstałego przy zastosowaniu wody jako cieczy nawilżającej w metodzie mechanicznej. Powyżej aktywności wody 0,53 następował spadek adsorpcji pary wodnej przez aglomeraty uzyskane przy zastosowaniu jako cieczy nawilżającej 2% wodnej lecytyny w metodzie fluidalnej i aglomeraty otrzymane w metodzie mechanicznej (aglomeracja wodą) w stosunku do mieszaniny przed aglomeracją. Równowagowa zawartość wody przy aktywności 0,75 wynosiła 12,66 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ dla mieszaniny C przed aglomeracją oraz odpowiednio 14,89; 11,44 i 14,30 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ dla aglomeratów uzyskanych w metodzie fluidalnej przy zastosowaniu jako cieczy nawilżającej: wody, 2% wodnego roztworu lecytyny i 50% wodnego roztworu cukru i 13,33 g H₂O·100 g s.s.⁻¹ dla aglomeratu uzyskanego w metodzie mechanicznej (rys. 1c).

Metoda aglomeracji i rodzaj zastosowanej cieczy nawilżającej miał istotny wpływ na przebieg kinetyki adsorpcji pary wodnej mieszaniny A (rys. 2a). Aglomeracja mieszaniny A wodą w metodzie fluidalnej powodowała zwiększenie adsorpcji pary wodnej z otaczającego środowiska. W przypadku aglomeratów uzyskanych przy zastosowaniu jako cieczy nawilżającej: 2% wodnego roztworu lecytyny i 50% wodnego roztworu cukru w metodzie fluidalnej oraz wody w metodzie mechanicznej aglomeracja spowodowała znaczne ograniczenie adsorpcji pary wodnej w porównaniu z proszkiem nieaglomerowanym (rys. 2a). Po 24 godz. adsorpcji pary wodnej przy aktywności wody 0,75 zawartość wody w mieszaninie A wynosiła 11,62 g H₂O·100 g s.s.⁻¹. Aglomeraty otrzymane metodą fluidalną przy zastosowaniu jako cieczy nawilżających: wody, lecytyny i cukru po 24 godz. adsorpcji uzyskano zawartość wody odpowiednio 12,33; 8,64 i 7,27 g H₂O·100 g s.s.⁻¹. W przypadku aglomeratu utworzonego w metodzie mechanicznej po 24 godz. adsorpcji charakteryzował się zawartością wody na poziomie 10,59 g H₂O·100 g s.s.⁻¹.

Metoda aglomeracji oraz rodzaj cieczy nawilżającej (woda, 2% wodny roztwór lecytyny i 50% wodny roztwór cukru) miały również istotny wpływ na przebieg kinetyki adsorpcji pary wodnej w przypadku mieszaniny B (rys. 2b). Aglomerat otrzymany metodą mechaniczną charakteryzował się mniejszą zdolnością chłonięcia wody w porównaniu z aglomeratem uzyskanym metodą fluidalną przy

zastosowaniu jako cieczy nawilżającej – wody. Aglomeraty niezależnie od metody aglomeracji i zastosowanej cieczy nawilżającej charakteryzowały się znacznie obniżoną zdolnością chłonięcia wody ze środowiska w porównaniu z mieszaniną nieaglomerowaną. Po 24 godz. adsorpcji pary wodnej przy aktywności wody 0,75 zawartość wody w mieszaninie A wynosiła 11,84 g H₂O·100 g s.s.⁻¹. W przypadku aglomeratów otrzymanych w metodzie fluidalnej przy użyciu jako cieczy nawilżających: wody, lecytyny i cukru po 24 godz. adsorpcji uzyskano zawartość wody odpowiednio 10,93; 7,89 i 7,77 g H₂O·100 g s.s.⁻¹. Aglomerat powstały w metodzie mechanicznej po 24 godz. adsorpcji charakteryzował się zawartością wody 10,14 g H₂O·100 g s.s.⁻¹.



Rys. 2. Wpływ aglomeracji na kinetykę adsorpcji pary wodnej: a) mieszanina A, b) mieszanina B, c) mieszanina C

Fig. 2. Effect of agglomeration on water vapour adsorption kinetics: a) mixture A, b) mixture B, c) mixture C

Kinetyka adsorpcji pary wodnej przez mieszaninę C przebiegała w sposób zbliżony do kinetyki adsorpcji pary wodnej utworzonej z niej aglomeratów w zastosowanej metodzie fluidalnej, jak i mechanicznej (rys. 2c). Aglomerat otrzymany metodą mechaniczną charakteryzował się ograniczoną adsorpcją pary wodnej w stosunku do pozostałych aglomeratów utworzonych w metodzie fluidalnej, których adsorpcja nieznacznie wzrosła w stosunku do mieszaniny nieaglomerowanej. Po 30 godz. przetrzymywania próbek w środowisku o aktywności wody 0,81 zawartość wody była porównywalna i mieściła się w zakresie 10,19-10,74 g H₂O·100 g s.s.⁻¹.

WNIOSKI

1. Wpływ aglomeracji na adsorpcję pary wodnej przez modelową żywność w proszku – odżywki dla dzieci uzależniony był w głównej mierze od składu surowcowego mieszaniny, a w mniejszym stopniu od metody aglomeracji i zastosowanej cieczy nawilżającej.

2. Aglomeracja wodą w mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym modelowych odżywek powodowała obniżoną adsorpcję pary wodnej w stosunku do aglomeratów uzyskanych w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym przy zastosowaniu wody jako cieczy nawilżającej.

3. Zastosowanie 50% wodnego roztworu cukru jako cieczy nawilżającej w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym powodowało zmniejszenie zdolności chłonięcia wody przez utworzone aglomeraty w stosunku do aglomeratów otrzymanych przy użyciu cieczy nawilżającej – wody i 2% wodnego roztworu lecytyny.

PIŚMIENNICTWO

- 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. *J. Food Engin.*, 61, 297-307.
- Foster K.D., Bronlund J.E., Paterson A.H.J., 2005. The prediction of moisture sorption isotherms for dairy powders. *Int. Dairy J.*, 15, 411-418.
- Kowalska H., Domian E., Janowicz M., Lenart A., 2005a. Właściwości sorpcyjne wybranych mieszanin proszków spożywczych o składzie białkowo-węglowodanowym. *Inż. Roln.*, 11(71), 259-266.
- Kowalska H., Domian E., Janowicz M., Lenart A., 2005b. Wpływ aglomeracji na adsorpcję pary wodnej przez wieloskładnikową żywność w proszku. *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość*, 4(45) supl., 120-131.
- Kowalska J., Lenart A., 2005. The influence of ingredients distribution on properties of agglomerated cocoa products. *J. Food Engin.*, 68 (2), 155-161.
- Mathlouthi M., Roge B., 2003. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. *Food Chem.*, 82, 61-71.

- Medeiros M. L., Bartolomeu Ayrosa A.M., de Moraes Pitombo R.N., da Silva Lannes S.C., 2006. Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. *J. Food Engin.*, 73, 402-406.
- Peng G., Chen X., Wu W., Jiang X., 2007. Modeling of water sorption isotherm for corn starch. *J. Food Engin.*, 70, 562-567.
- Sikorski Z.E. (red.), 2003. Woda jako składnik żywności. *Chemia żywności*, WNT Warszawa, 79-83.
- Sinija V.R., Mishra H.N., 2008. Moisture sorption isotherms and heat of sorption of instant (soluble) green tea powder and green tea granules. *J. Food Engin.*, 86, 494-500.
- Sukumar D., Hemavathy J., Bhatb K.K., 2002. Moisture sorption studies on onion powder. *Food Chem.*, 78, 479-482.

WATER VAPOUR SORPTION BY FOOD POWDERS MIXTURES AND THEIR AGGLOMERATES

Karolina Szulc, Andrzej Lenart

Department of Food Engineering and Process Management,
Faculty of Food Science, University of Life Sciences
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa
e-mail: karolina_szulc@sggw.pl

Abstract. In the reported study were determined the isotherms and the kinetics of the process of adsorbing water vapour by mixtures of powder foods and their agglomerates produced using a method of repeated wetting in a fluidised bed that was pneumatically or mechanically generated. The mixtures were made of products in the form of powders: whole milk powder, powdered sugar, rice groats and strawberry powder. The mixtures had a composition pattern of the commercially available powdered nutrients for children. The effect of wet agglomeration in a fluidised bed on the water vapour adsorption by multi-component food powders depended on its character. The effect of changes, aimed at decreasing the adsorption capacity of water steam by agglomerates, depended first of all on their compositions and to a lower extent on their structure connected with the method of agglomeration and kind of wetting liquid used in the process.

Keywords: water vapour adsorption, agglomeration, food powders