

KAROLINA POSZYTEK, ANDRZEJ LENART

## WŁAŚCIWOŚCI SORPCYJNE MODELOWYCH ODŻYWEK SPROSZKOWANYCH

### Streszczenie

Celem pracy było określenie właściwości sorpcyjnych mieszanin proszków spożywczych z uwzględnieniem wpływu składu mieszaniny. Zakres pracy obejmował analizę wpływu wybranych proszków spożywczych i utworzonych z nich mieszanin na kinetykę i izotermy adsorpcji pary wodnej. Modelową żywność w proszku stanowiły mieszaniny tworzone z następujących proszków spożywczych: mleka w proszku, cukru pudru, proszku truskawkowego, kaszki kukurydzianej i kaszki ryżowej. Analizowane składniki i mieszaniny w proszku charakteryzowały się zróżnicowaną zdolnością adsorpcji pary wodnej. W przedziale aktywności wody  $a_w$  0 – 0,9 występowały wyraźne różnice w przebiegu izoterm i krzywych kinetyki badanych proszków i utworzonych na ich podstawie mieszanin. Izotermy adsorpcji pary wodnej mleka w proszku, kaszki kukurydzianej i kaszki ryżowej oraz badanych mieszanin miały przebieg zgodny z przebiegiem izoterm typu II według klasyfikacji BET. Jedynie cukier puder i proszek truskawkowy cechowały się odmiennym przebiegiem izoterm od pozostałych proszków, charakterystycznym dla izoterm typu III według klasyfikacji BET.

**Słowa kluczowe:** proszki spożywcze, mieszaniny wieloskładnikowe, kinetyka adsorpcji, izotermy adsorpcji

### Wprowadzenie

Zachowanie się produktów spożywczych w kontakcie z wilgotnym powietrzem jest opisane przez izotermę sorpcji pary wodnej, która wykazuje związek pomiędzy zawartością wody a aktywnością wody w danej temperaturze. Sorpcja pary wodnej na powierzchni artykułu żywnościowego może mieć charakter fizyczny lub chemiczny, a zaadsorbowana wilgoć może zajmować jedną lub kilka warstw. Izotermy sorpcji pary wodnej umożliwiają charakterystykę mikrostruktury oraz teoretyczną interpretację zjawisk fizycznych zachodzących na powierzchni kontaktu żywność – substancja lotna [5]. Produkty w formie sypkiej mają złożoną budowę i strukturę, włączając zdolne do

---

*Mgr inż. K. Poszytek, prof. dr hab. A. Lenart; Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa*

krystalizacji substancje rozpuszczalne, takie jak cukier, które podczas adsorpcji pary wodnej zmieniają się w substancje krystaliczne [4].

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 sorpcji jest niezbędna do ustalenia optymalnych warunków przechowywania żywności suszonej oraz doboru odpowiednich opakowań [1, 8]. Izotermy sorpcji są wykorzystywane przy mieszaniu suchej żywności w proszku o różnej higroskopijności (koncentratów, ciast, odżywek, napojów). W hermetycznie zamkniętej mieszaninie 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 [7].

Wrażliwość produktów suszonych na wilgoć i zdolność chłonięcia wody może być określana na podstawie kinetyki sorpcji, czyli zależności pomiędzy zmianą masy produktu wskutek adsorpcji lub desorpcji pary wodnej [2, 3].

Celem pracy było określenie właściwości sorpcyjnych mieszanin proszków spożywczych z uwzględnieniem wpływu składu mieszaniny.

Zakres pracy obejmował analizę wybranych proszków spożywczych i utworzonych z nich modelowych mieszanin, o składzie surowcowym typowym dla odżywek dla dzieci, na kinetykę i izotermy adsorpcji pary wodnej.

### **Materiał i metody badań**

Materiał badawczy stanowiły dostępne na rynku produkty w proszku: mleko pełne w proszku (MP), cukier puder (CP), kaszka ryżowa (KR) o różnym składzie granulometrycznym -  $0,2 < d < 0,63$  mm ( $KR_1$ ) i  $0,8 < d < 1,25$  mm ( $KR_2$ ), kaszka kukurydziana (KK), i proszek truskawkowy (PT), z których w wyniku zmieszania w odpowiednich proporcjach utworzono modelowe mieszaniny:

- A (MP 40%, CP 25%,  $KR_1$  33%, PT 2%),
- B (MP 40%, CP 25%,  $KR_2$  33%, PT 2%),
- C (MP 40%, CP 25%, KK 33%, PT 2%),
- D (MP 0%, CP 25%,  $KR_1$  73%, PT 2%),
- E (MP 40%, CP 25%,  $KR_1$  35%, PT 0%),
- F (MP 73%, CP 25%,  $KR_1$  0%, PT 2%).

W badanych surowcach oznaczano zawartość wody metodą suszenia w temp.  $105^{\circ}\text{C}$  przez 4 h [6] oraz aktywność wody w aparacie ROTRONIC, model Hygroskop DT1, w temp.  $24 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

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 0–0,903 przez 3 miesiące. Na podstawie zmian masy określano zawartość wody w produktach po przechowywaniu.

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 h. W obydwu oznaczeniach próbki wcześniej dosuszano w temp. 70°C przez 24 h.

Uzyskane wyniki określające zdolność adsorpcji pary wodnej przez składniki modelowych odżywek dla dzieci, jak i same odżywki poddano statystycznej analizie wariancji w programie Statistica 5.0. W celu dokonania analizy porównawczej otrzymanych wyników badań i ich wzajemnych relacji obliczano NIR. Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

Wszystkie pomiary i oznaczenia powtarzano trzykrotnie.

## Wyniki i dyskusja

Spośród badanych proszków spożywczych pobranych bezpośrednio z opakowania największą aktywnością wody cechował się cukier puder CP -  $a_w = 0,37$ , a najniższą aktywność wody wykazywała kaszka kukurydziana KK i mleko w proszku MP -  $a_w = 0,09$ . Natomiast największą zawartość wody oznaczono w proszku truskawkowym PT - 7,53 g H<sub>2</sub>O/100 g s.s., najmniejszą w cukrze pudrze CP - 0,42 g H<sub>2</sub>O/100 g s.s. (tab. 1). Wyniki te wskazują na brak prostej zależności między zawartością wody w danym produkcie żywnościowym a jej aktywnością [7].

Izotermy adsorpcji pary wodnej przez mleko w proszku MP, kaszkę kukurydzianą KK i kaszkę ryżową KR niezależnie od stopnia granulacji miały przebieg zgodny z przebiegiem izoterm typu II według klasyfikacji BET (rys. 1). Charakterystyczny sigmoidalny kształt uzyskanych izoterm związany jest z występowaniem zakresu adsorpcji monomolekularnej w atmosferze o niskiej aktywności wody ( $a_w < 0,3$ ), zakresu adsorpcji wielowarstwowej ( $0,3 < a_w < 0,65$ ) i kondensacji kapilarnej ( $a_w > 0,65$ ). Tego typu izotermy są często spotykane w odniesieniu do produktów spożywczych wysokobiałkowych i skrobiowych [4, 7].

Izotermy adsorpcji pary wodnej przez cukier puder CP i proszek truskawkowy PT cechowały się tym samym kształtem, charakterystycznym dla produktów bogatych w cukry (rys. 1). Nie obserwowano przegięcia izoterm w zakresie niskich aktywności wody. Izotermy tego typu należą do izoterm III typu według klasyfikacji BET. Charakteryzują się one brakiem istotnej granicy w przejściu z adsorpcji monomolekularnej do adsorpcji wielowarstwowej. Wystąpiły dość duże różnice zawartości wody w poszczególnych składnikach odżywek sproszkowanych przy równych aktywnościach wody. Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej

wykazano statystycznie istotne różnice ( $P < 0,05$ ) zdolności adsorpcji pary wodnej przez poszczególne składniki modelowych odżywek dla dzieci.

Tabela 1

Zawartość i aktywność wody badanych proszków spożywczych (pobranych bezpośrednio z opakowania) i ich mieszanin.

Water content and water activity of investigated food powders (taken directly from packages) and their mixtures.

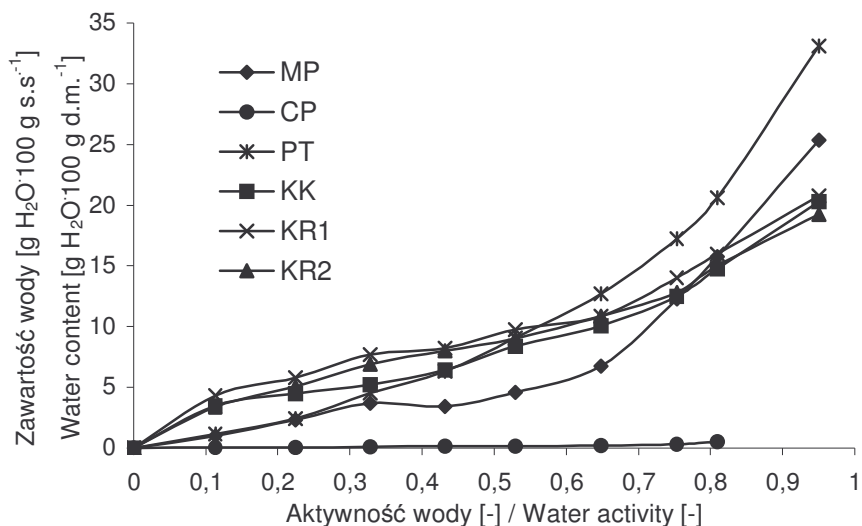
Produkt Product	Zawartość wody [g H <sub>2</sub> O/100 g s.s.] Water content [g H <sub>2</sub> O/100 g d.m.]	Aktywność wody [-] Water activity [-]
Kaszka kukurydziana / Corn gruel KK	4,13	0,09
Kaszka ryżowa / Rice gruel KR	5,48	0,12
Mleko w proszku / Milk powder MP	3,22	0,09
Cukier puder / Powdered sugar CP	0,42	0,37
Proszek truskawkowy / Strawberry powder PT	7,53	0,26
Mieszanina A / Mixture A	5,02	0,23
Mieszanina B / Mixture B	4,68	0,23
Mieszanina C / Mixture C	4,35	0,23
Mieszanina D / Mixture D	5,84	0,25
Mieszanina E / Mixture E	5,73	0,16
Mieszanina F / Mixture F	3,76	0,24

W przypadku mleka w proszku MP i mieszaniny F zawierającej (mleko w proszku MP 73%) duży udział jednego składnika tworzącego mieszaninę zaobserwowano nieciągłość izotermy w przedziale aktywności wody 0,33 – 0,44 (rys. 1 i 2), co ma związek z przemianami fazowymi laktozy, tzn. przejściem cukru ze stanu amorficznego w krystaliczny [3, 8].

Izotermy adsorpcji pary wodnej przez poszczególne składniki odżywek wykazały zróżnicowaną zdolność chłonięcia wody z otoczenia. Największą higroskopijność wykazywała kaszka ryżowa KR w przedziale aktywności wody  $a_w$  0 – 0,53 i proszek truskawkowy PT w zakresie  $a_w$  0,53 – 0,9. Najbardziej ograniczoną higroskopijność wykazywał cukier puder CP w zakresie  $a_w$  0 – 0,81 (rys. 1 i 2).

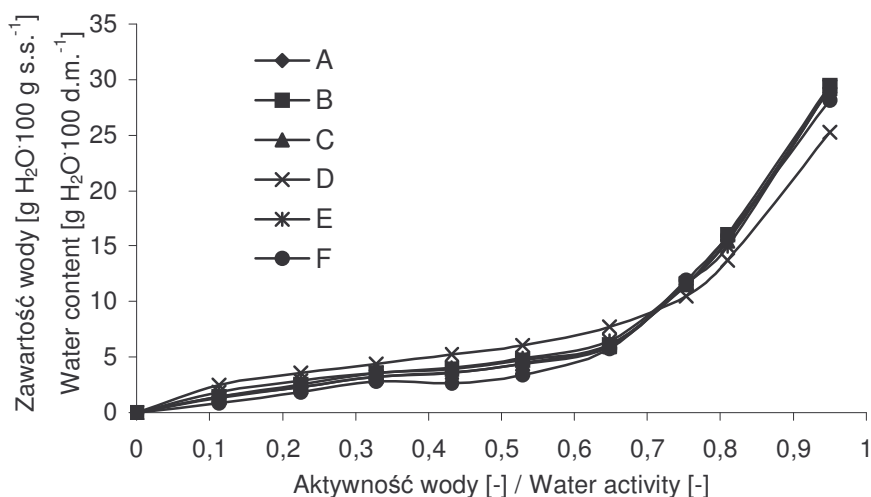
Odżywki o dominującym udziale w składzie jednego ze składników (73%), charakteryzowały się najbardziej zróżnicowanym przebiegiem izoterm adsorpcji pary wodnej. Udział proszku mlecznego w mieszaninie F (73%) spowodował zmniejszenie zdolności chłonięcia wody z otoczenia w przedziale  $a_w$  0 – 0,75, a powyżej tej aktywności wody następował intensywny wzrost higroskopijności (rys. 2). Odwrotna zależność występowała w przypadku mieszaniny D, w której głównym składnikiem

była kaszka ryżowa KR<sub>1</sub> (73%). Zastąpienie mleka w proszku MP kaszką ryżową KR<sub>1</sub> spowodowało statystycznie istotne różnice w przebiegu izoterm adsorpcji pary wodnej pomiędzy mieszaniną D a mieszaninami A i F. Podobnie zastąpienie proszku truskawkowego PT kaszką ryżową KR<sub>1</sub> przyczyniło się do statystycznie istotnej różnicy ( $P < 0,05$ ) w przebiegu krzywych A i E.



Rys. 1. Izoterm adsorpcji pary wodnej składników odżywek sproszkowanych.

Fig. 1. Adsorption isotherms of water vapour of powdered nutrients components.

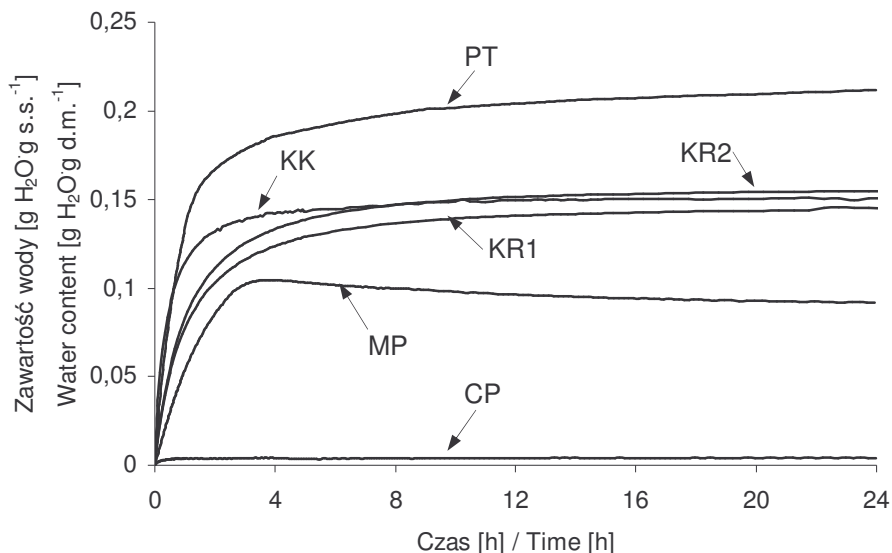


Rys. 2. Izoterm sorpcji mieszanin proszków spożywczych.

Fig. 2. Sorption isotherms of water vapour of food powders mixture.

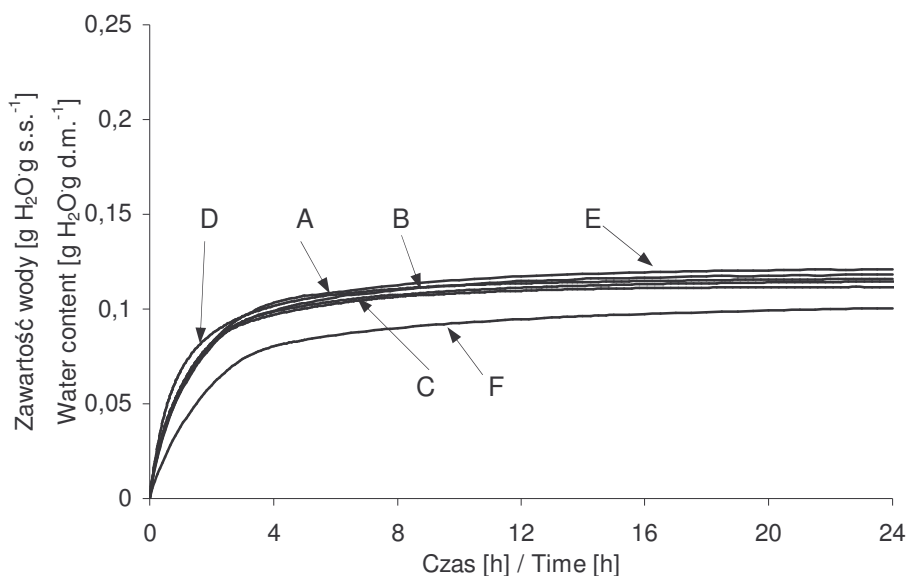
Kinetykę adsorpcji pary wodnej przez składniki odżywek sproszkowanych i mieszaniny odpowiadające składem surowcowym sproszkowanym odżywkom dla dzieci przedstawiono na rys. 3 i 4. Kinetyka adsorpcji pary wodnej składników, jak i samych mieszanin (modelowych odżywek), wykazywała podobną tendencję, przebiegając w sposób zbliżony do izoterm adsorpcji pary wodnej przez te produkty. Proszek truskawkowy PT charakteryzował się największą zdolnością adsorpcji wody. Najmniejszą zdolność chłonięcia wody wykazywał cukier puder CP. Podobną zdolność chłonięcia wody z otoczenia wykazywały kaszka kukurydziana KK i kaszka ryżowa KR niezależnie od wielkości cząstek (rys. 3). Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej wykazano statystycznie istotne różnice ( $P < 0,05$ ) w przebiegu krzywych kinetycznych adsorpcji pary wodnej przez poszczególne składniki modelowych sproszkowanych odżywek.

Wymieszanie składników o różnej zdolności do adsorbowania wody spowodowało uśrednienie uzyskanych wartości równowagowej zawartości wody (rys. 4). Zdolność chłonięcia wody przez analizowane mieszaniny A, B, C, D i E była porównywalna i zawierała się w przedziale 0,11–0,12  $\text{H}_2\text{O/g}$  s.s. Jednakże przeprowadzona analiza statystyczna wykazała nieznaczne, ale statystycznie istotne ( $P < 0,05$ ) różnice w przebiegu tych krzywych kinetycznych. W mieszaninie F, w której największy udział stanowiło mleko w proszku (73%), nastąpiło obniżenie krzywej kinetyki w stosunku do pozostałych mieszanin. Zdolność chłonięcia wody z otoczenia o aktywności wody 0,75 przez mieszaninę F wynosiła 0,1  $\text{H}_2\text{O/g}$  s.s. po 24 h adsorpcji (rys. 4).



Rys. 3. Kinetyka adsorpcji pary wodnej przez składniki odżywek sproszkowanych.

Fig. 3. Kinetic of water vapour adsorption of powdered nutrients components.



Rys. 4. Kinetyka adsorpcji pary wodnej przez mieszanki w proszku.

Fig. 4. Kinetic of water vapour adsorption of food powders mixture.

## Wnioski

1. Analizowane składniki i mieszanki w proszku charakteryzowały się zróżnicowaną zdolnością adsorpcji pary wodnej. W całym przedziale aktywności wody  $0 < a_w < 0,9$  występowały wyraźne różnice w przebiegu izoterm badanych proszków i utworzonych na ich podstawie mieszanin (modelowych odżywek sproszkowanych).
2. Izoterm adsorpcji pary wodnej przez mleko w proszku, kaszkę kukurydzianą i kaszkę ryżową oraz przez badane mieszanki miały przebieg zgodny z przebiegiem izoterm typu II według klasyfikacji BET. Jedynie cukier puder i proszek truskawkowy wykazały odmienny przebieg izoterm charakterystyczny dla typu III według klasyfikacji BET.
3. Zmieszanie składników o różnych zdolnościach adsorpcji pary wodnej wpłynęło na uśrednienie uzyskanych wartości równowagowej zawartości wody. Zwiększony udział mleka w proszku (73%) spowodował znaczne zmniejszenie zdolności chłonięcia wody z otaczającego środowiska przez badane modelowe odżywki dla dzieci.

*Praca była prezentowana na XI Sesji Sekcji Młodej Kadry Naukowej PTTŻ, Warszawa, 24–25 maja 2006.*

### Literatura

- [1] Foster K.D., Bronlund J.E., Paterson A.H.J.: The prediction of moisture sorption isotherms for dairy powders. *Int. Dairy J.*, 2005, **15**, 411–418.
- [2] Kowalska H., Domian E., Janowicz M., Lenart A.: Właściwości sorpcyjne wybranych mieszanin proszków spożywczych o składzie białkowo/węglowodanowym. *Inż. Rol.*, 2005, **11 (71)**, 259-266.
- [3] Kowalska J., Lenart A.: The influence of ingredients distribution on properties of agglomerated cocoa products. *J. Food Eng.*, 2005, **68 (2)**, 155-161.
- [4] Mathlouthi M., Roge B.: Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. *Food Chem.*, 2003, **82**, 61-71.
- [5] Medeiros M. L., Bartolomeu Ayrosa A.M., de Moraes Pitombo R.N., da Silva Lannes S.C.: Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. *J. Food Eng.*, 2006, **73**, 402–406.
- [6] PN/A/79011/3:1998. Koncentraty spożywcze. Metody badań. Oznaczanie zawartości wody.
- [7] Praca zbiorowa pod red. Sikorskiego Z.E.: Woda jako składnik żywności. W: *Chemia żywności*. WNT, Warszawa 2003, s. 79-83.
- [8] Sukumar D., J. Hemavathy J., Bhatb K.K.: Moisture sorption studies on onion powder. *Food Chem.*, 2002, **78**, 479–482.

### SORPTION PROPERTIES OF MODELLED POWDERED NUTRIENTS

#### Summary

The aim of this study was measurement of sorption properties of food powder mixtures with regards of mixture composition influence. The range of the work included analysis of water vapour adsorption on kinetics and isotherms of chosen food powders and formed from them mixtures. The modelled food powders were created on basis of following powders: milk powder, powdered sugar, strawberry powder, corn gruel and rice gruel. Analysed components and food powder mixtures were characterized with diversified ability of adsorption of water vapour. In the range of water activity 0–0.9 noticeable differences in course of isotherms and curves of kinetics of water adsorption ability for measured food powders and formed on their base mixtures were appeared. Isotherms of water vapour adsorption for milk powder, corn gruel and rice gruel and researched mixtures had a compatible course with course of II type isotherms according to BET classification. Only powdered sugar and strawberry powder were characterized with different course and were characterized with course of III type isotherms according to BET classification.

**Key words:** food powders, multiple mixtures, sorption kinetics, sorption isotherms 