

KAROLINA SZULC, ANDRZEJ LENART

## WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE AGLOMEROWANEJ ŻYWNOSCI W PROSZKU DLA DZIECI

### Streszczenie

W niniejszej pracy badano wpływ składu surowcowego, sposobu aglomeracji i rodzaju cieczy nawilżającej na właściwości reologiczne sproszkowanych odżywek dla dzieci. Aglomerację przeprowadzono dwoma metodami: w pneumatycznie i mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym. Modelową żywność w proszku stanowiły mieszaniny tworzone na bazie takich proszków, jak: mleko w proszku, kaszka ryżowa, cukier puder i proszek truskawkowy. Pomiary wykonywano w teście bezpośredniego ścinania, według procedury pomiarowej zgodnej z teorią Jenike, przy czterech poziomach naprężenia konsolidującego z zakresu 4,6 - 17,2 kPa. Wyznaczono parametry plastycznego płynięcia badanych aglomeratów odżywek dla dzieci, takie jak: kohezynność, kąt tarcia wewnętrznego, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, największe naprężenie konsolidujące, indeks płynięcia. Test jednoosiowego ścinania umożliwił scharakteryzowanie właściwości reologicznych badanych aglomeratów sproszkowanych odżywek dla dzieci oraz wykazanie różnych właściwości kohezynnych tych materiałów. Funkcja płynięcia określa utworzone aglomeraty sproszkowanych odżywek dla dzieci jako materiały słabo kohezynne, łatwo płynące oraz jako materiały kohezynne, trudno płynące w zależności od naprężenia konsolidującego.

**Słowa kluczowe:** funkcja płynięcia, test ścinania, aglomeracja, żywność w proszku

### Wprowadzenie

Systematyczny wzrost udziału materiałów sypkich w grupie produktów spożywczych zarówno końcowych, jak i półproduktów, wymusza konieczność sprecyzowania cech, które pozwolą jednoznacznie zdefiniować właściwości reologiczne materiału. Znajomość tych cech jest niezbędna do poprawnego projektowania urządzeń magazynowo-transportowych, przetwórczych i pakujących [13].

Produkty w proszku mają strukturę systemów zdyspergowanych o dużym znaczeniu praktycznym. Charakterystyka jakościowa proszków obejmuje najczęściej aspekty związane z ich obrotem, jak też aspekty związane z odtwarzaniem w cieczy [7, 10]. Celem powiększania rozmiarów cząstek przez aglomerację jest polepszenie wybranych

---

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

właściwości fizycznych systemu zdyspergowanego. Takie właściwości cząstek ciał stałych, jak: wielkość i kształt, porowatość, gęstość nasypowa, sypkość, zapobieganie segregacji składników czy tworzenia pyłu mają podstawowe znaczenie [3, 12].

W technologii materiałów sypkich w większości operacji jednostkowych takich, jak: przesiewanie, mieszanie, aglomeracja, określenie ruchu ośrodka sypkiego ma podstawowe znaczenie. Właściwości mechaniczne, w tym właściwości reologiczne, żywności w proszku odgrywają istotną rolę w wyjaśnieniu i rozwiązywaniu problemów związanych z jej magazynowaniem, transportem i obrotem [1]. Konsolidacja, zawieszanie i zasklepienie się materiału sypkiego w zbiorniku oraz przepływ tunelowy są przykładami problemów występujących podczas obrotu materiałów w proszku [2, 4, 6].

Do określenia zdolności płynięcia proszków niezbędna staje się symulacja warunków, jakie panują w zbiorniku. Metodą najbardziej przydatną są badania bezpośredniego ścinania. Wartości uzyskane z testów bezpośredniego ścinania, według teorii płynięcia proszków Jenike [9], pozwalają określić parametry plastycznego płynięcia materiałów sypkich z wystarczającą dokładnością do praktycznego zastosowania i przewidzieć charakter płynięcia badanego materiału sypkiego. Parametry te określają warunki, w jakich materiał sypki przestaje zachowywać się jak ciało stałe i staje się podobny do cieczy. Do parametrów plastycznego płynięcia należą: kąt tarcia wewnętrznego w materiale, efektywny kąt tarcia (miara tarcia wewnętrznego uwzględniająca kohezyjność), wytrzymałość proszku na odkształcenia, kohezyjność, kąt tarcia o ściany zbiornika i gęstość nasypowa. Wyżej wymienione wielkości zależne są od poziomu naprężenia konsolidującego [2, 5].

Celem pracy była analiza wpływu składu surowcowego, sposobu aglomeracji i rodzaju cieczy nawilżającej na właściwości reologiczne odżywek w proszku dla dzieci, przy czterech poziomach naprężenia konsolidującego z zakresu 4,62 - 17,24 kPa.

### **Material i metody badań**

Materiał badawczy stanowiły dostępne na rynku produkty w proszku: mleko pełne w proszku (MP), cukier puder (CP), kaszka ryżowa (KR) i proszek truskawkowy (PT), z których w wyniku zmieszania w odpowiednich proporcjach utworzono modelowe odżywki w proszku dla dzieci (udział w % masowych): A (CP 25 %, KR 73 %, PT 2 %), B (MP 40 %, CP 25 %, KR 33 %, PT 2 %), C (MP 73 %, CP 25 %, PT 2 %).

Proces aglomeracji nawilżeniowej prowadzono w pneumatycznie i mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym przy zastosowaniu jako cieczy nawilżających: wody, 2 % wodnego roztworu lecytyny i 50 % wodnego roztworu cukru. Proces aglomeracji w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym prowadzono z zastosowaniem urządzenia STREA 1/Niro-Areomantic AG. Aglomerację metodą mieszania mechanicznego (mechanicznie wytwarzane złożo fluidalne) prowadzono w laboratoryjnym mieszalniku lemieszowo-płującym firmy Lödige, typ L5.

Badania właściwości reologicznych prowadzono metodą bezpośredniego ścinania w aparacie przystosowanym do procedury pomiarowej zgodnej z teorią Jenike [8]. Do konsolidacji badanego materiału zastosowano naprężenie konsolidujące z zakresu 4,62 - 17,24 kPa.

Wyznaczono następujące parametry plastycznego płynięcia otrzymanych aglomeratów sproszkowanych odżywek dla dzieci [2, 9]:  $\varphi$  – kinetyczny kąt tarcia wewnętrznego,  $\delta$  – efektywny kąt tarcia wewnętrznego,  $C$  – kohezynność,  $\sigma_E$  – naprężenie konsolidujące,  $\sigma_1$  – główne naprężenie konsolidujące,  $\sigma_c$  – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie,  $ff_c$  – indeks płynięcia. Badane modelowe odżywki w formie aglomeratów scharakteryzowano funkcją płynięcia FF oraz gęstością nasypową materiału skonsolidowanego  $\rho_k$ .

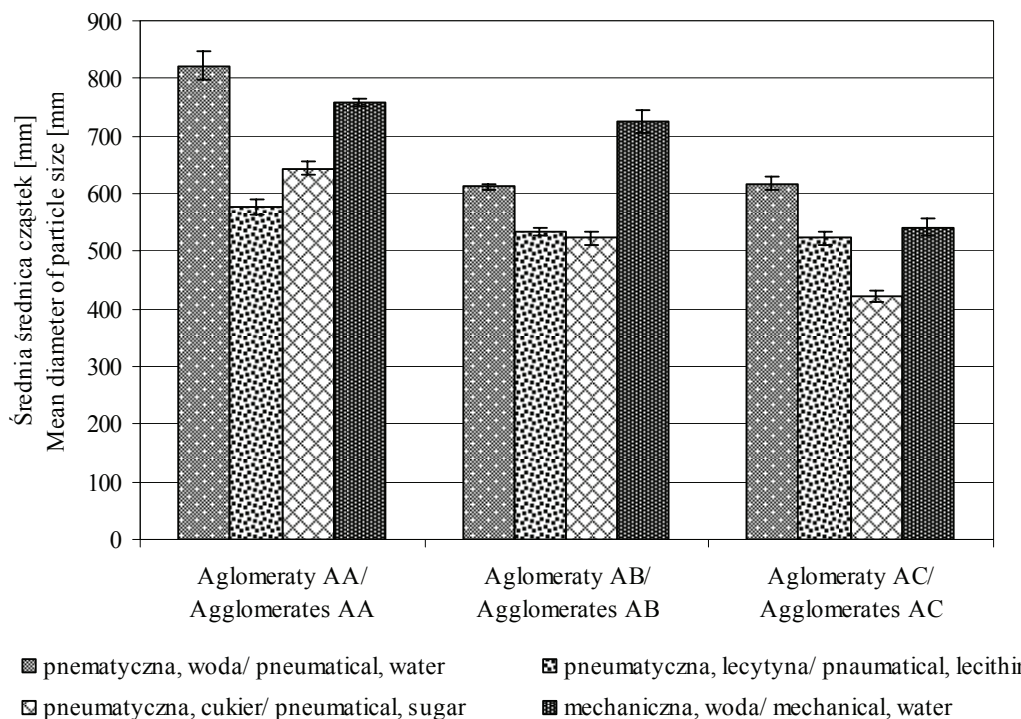
Średni wymiar cząstek aglomeratów (średnią średnicą objętościową) oznaczano przy zastosowaniu analizatora wielkości cząstek ciał stałych w powietrzu AWK–V97/Kamika [10].

Wszystkie badania wykonano w co najmniej trzech powtórzeniach.

## Wyniki i dyskusja

Wielkość cząstek odgrywa ważną rolę, gdyż wykazuje ona związek nie tylko z cechami użytkowymi materiału w proszku, lecz także decyduje o jego zachowaniu podczas dalszych procesów. Rozmiar cząstek jest jednym z najistotniejszych właściwości definiujących sypkłość proszku [3]. Aglomeracja materiałów w proszku wiąże się z powiększeniem rozmiarów cząstek stałych poprzez łączenie drobnych cząstek w większe skupiska, w których te cząstki są nadal rozpoznawalne. Wymiar cząstek (średnia średnica) otrzymanych aglomeratów niezależnie od sposobu aglomeracji i rodzaju cieczy nawilżającej (woda, 2 % wodny roztwór lecytyny, 50 % wodny roztwór cukru) wynosił 422 - 822  $\mu\text{m}$  (rys. 1). Aglomeracja badanych odżywek wodą, niezależnie od rodzaju mieszaniny, w pneumatycznie i mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym powodowała, że utworzone aglomeraty charakteryzowały się największym rozmiarem cząstek 541 - 822  $\mu\text{m}$ . Zastosowanie roztworów lecytyny i cukru zamiast wody, jako cieczy nawilżającej, podczas aglomeracji odżywek w aparacie STREA 1 spowodowało zmniejszenie wymiaru aglomeratów sproszkowanych odżywek dla dzieci (rys. 1).

Badane modelowe odżywki dla dzieci w proszku charakteryzowały się różną zdolnością materiału do płynięcia. Ogólnie, wartości parametrów plastycznego płynięcia zależały od składu surowcowego i sposobu aglomeracji oraz przyjętego poziomu naprężeń konsolidujących (tab. 1 i 2). Wraz ze wzrostem naprężenia konsolidującego wzrastała gęstość materiału skonsolidowanego, kohezynność, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie oraz największe naprężenie konsolidujące, a malał zarówno kinetyczny, jak i efektywny kąt tarcia wewnętrznego.



Rys. 1. Średnia średnica cząstek aglomeratów otrzymanych w pneumatycznie i mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym.

Fig. 1. Mean diameter of particle size of agglomerates obtained in a pneumatically and mechanically generated fluidized bed.

Największą gęstość materiału skonsolidowanego ( $\rho_k$ ) wykazywał aglomerat AC aglomerowany wodą w mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym (ACM, w którego skład wchodziło głównie mleko w proszku MP (73 %) (tab. 2). Najmniejszą gęstością ( $\rho_k$ ) charakteryzowały się aglomeraty AA utworzone w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym przy zastosowaniu jako cieczy nawilżającej wody (AA) i 50 % wodnego roztworu cukru (AAC) (tab. 1).

Kinetyczny ( $\varphi$ ), jak i efektywny ( $\delta$ ) kąt tarcia wewnętrznej jest charakterystyczny dla danego materiału sypkiego i zależy od wielkości naprężenia konsolidującego. Uzyskane wyniki efektywnego kąta tarcia wewnętrznej ( $\delta$ ) badanych odżywek charakteryzowały się wyższymi wartościami w stosunku do wartości kinetycznego kąta tarcia wewnętrznej ( $\varphi$ ), niezależnie od rodzaju otrzymanego aglomeratu (tab. 1 i 2). Największe wartości kąta tarcia wewnętrznej ( $\varphi$ ) i ( $\delta$ ) wykazywały odżywki aglomerowane wodą w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym (AA, AB, AC), najmniejsze zaś wartości kinetycznego, jak i efektywnego kąta tarcia wewnętrznej wy-

kazywały aglomeraty utworzone przy zastosowaniu jako cieczy nawilżającej 2 % wodnego roztworu lecytyny (AAL, ABL, ACL) (tab. 1 i 2).

Kohezyjność (C) badanej żywności w proszku ulega zwiększeniu wraz ze wzrostem naprężenia konsolidującego. Największą spójność cząsteczkową (kohezyjność) wykazywały odżywki – aglomeraty AA i AAC, najmniejszą zaś kohezyjność aglomeraty AAL i ABM (tab. 1 i 2). Zastosowanie wody jako cieczy nawilżającej w procesie aglomeracji w pneumatycznie generowanym (wytwarzaniu) złożu fluidalnym, niezależnie od składu surowcowego odżywki (AA, AB, AC), powodowało wzrost kohezyjności (C) w stosunku do odżywek aglomerowanych 2 % roztworem lecytyny i roztworem 50 % cukru (tab. 1). Jednocześnie wraz ze wzrostem sił kohezji wzrastała wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie badanych odżywek – aglomeratów (tab. 1 i 2).

Tabela 1

Parametry plastycznego płynięcia odżywek dla dzieci w proszku aglomerowanych w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym.

Parameters of plastic flow of baby food powders that were agglomerated in a pneumatically fluidized bed.

Odżywka Baby food	$\sigma_E$ [kPa]	$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	$\delta$ [°]	C [kPa]	$\sigma_c$ [kPa]	$\sigma_1$ [kPa]	$ff_c$ [-]
AA*	17,24	218 ± 1	21	31	4,40	10,2	31,9	3,1
	13,03	217 ± 1	21	31	3,71	8,9	25,0	2,8
	8,83	216 ± 1	24	35	2,76	6,8	18,4	2,7
	4,62	209 ± 0	28	39	1,67	4,4	11,1	2,5
AB*	17,24	388 ± 1	22	31	4,23	10,3	32,8	3,2
	13,03	388 ± 1	24	32	3,26	8,2	25,6	3,1
	8,83	387 ± 1	26	34	2,22	5,6	18,5	3,3
	4,62	383 ± 1	26	37	1,41	3,4	10,1	3,0
AC*	17,24	366 ± 1	22	31	3,75	9,1	32,7	3,6
	13,03	355 ± 1	21	32	3,79	8,9	24,7	2,8
	8,83	333 ± 1	21	32	2,53	5,8	16,8	2,9
	4,62	320 ± 1	24	36	1,57	4,0	9,6	2,4
AAL*	17,24	229 ± 0	16	18	1,97	4,0	24,2	6,1
	13,03	222 ± 2	15	19	1,39	2,9	18,9	6,5
	8,83	215 ± 1	16	21	1,11	2,4	13,1	5,5
	4,62	214 ± 1	19	25	0,83	1,9	7,5	3,9
ABL*	17,24	304 ± 0	12	18	2,49	5,0	24,3	4,9
	13,03	299 ± 2	12	19	2,21	4,2	18,8	4,5
	8,83	295 ± 3	13	22	1,72	3,3	13,2	4,0
	4,62	285 ± 5	16	25	1,06	2,2	7,5	3,4
ACL*	17,24	401 ± 5	17	24	3,14	6,3	27,4	4,3
	13,03	390 ± 4	16	24	2,58	5,3	20,8	3,9
	8,83	381 ± 3	17	20	1,66	4,1	14,2	3,5
	4,62	375 ± 1	20	29	1,17	2,2	8,2	3,7

cd. Tab. 1

AAC*	17,24	207 ± 1	15	20	2,06	4,3	25,5	5,9
	13,03	205 ± 0	16	22	2,01	4,2	20,2	4,8
	8,83	205 ± 1	17	25	1,66	3,7	14,5	3,9
	4,62	202 ± 1	17	29	1,27	2,7	8,2	3,0
ABC*	17,24	291 ± 3	15	21	2,55	5,2	25,2	4,8
	13,03	278 ± 4	13	22	2,29	4,6	19,0	4,1
	8,83	277 ± 1	13	23	1,88	3,8	13,2	3,5
	4,62	267 ± 0	17	29	1,24	2,8	7,8	2,8
ACC*	17,24	401 ± 1	22	32	4,83	11,2	32,8	2,9
	13,03	388 ± 1	24	33	3,86	9,6	26,1	2,7
	8,83	380 ± 1	24	34	2,57	6,4	18,2	2,8
	4,62	366 ± 0	28	37	1,33	3,5	10,4	3,0

Objaśnienia: Explanatory notes:

\* - Aglomeracja odżywek cieczą nawilżającą: wodą (AA, AB, AC), 2 % wodnym roztworem lecytyny (AAL, ABL, ACL), 50 % wodnym roztworem cukru (AAC, ABC, ACC) / Agglomerating baby food using the following moistening liquid: water (AA, AB, AC), 2% lecithin solution (AAL, ABL, ACL), and 50% water solution of sugar (AAC, ABC, ACC);

$\sigma_E$  – napężenie konsolidujące / consolidating stress;  $\rho_k$  – gęstość nasypowa materiału skonsolidowanego / bulk density of consolidated material;  $\varphi$  – kinetyczny kąt tarcia wewnętrznego / kinetic angle of internal friction;  $\delta$  – efektywny kąt tarcia wewnętrznego / effective angle of internal friction; C – kohezynność / cohesion;  $\sigma_c$  – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie / unconfined yield strength;  $\sigma_1$  – główne napężenie konsolidujące / major consolidating stress;  $ff_c$  – indeks płynięcia / flow index

Tabela 2

Parametry plastycznego płynięcia odżywek dla dzieci w proszku aglomerowanych w mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym.

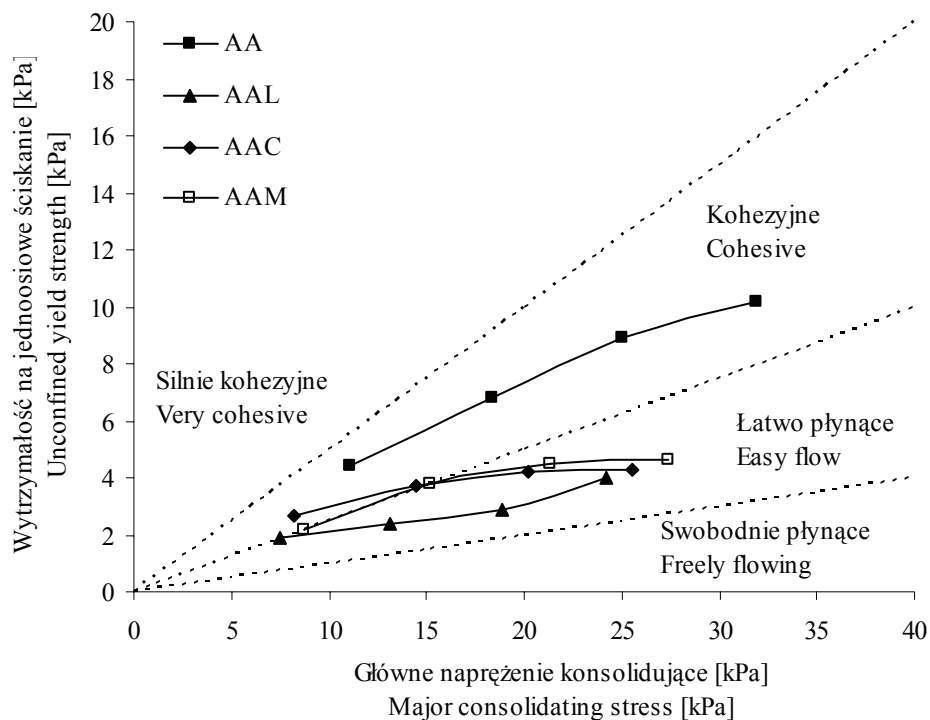
Parameters of plastic flow of baby food powders agglomerated in a mechanically fluidized bed.

Odżywka Baby food	$\sigma_E$ [kPa]	$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\varphi$ [°]	$\delta$ [°]	C [kPa]	$\sigma_c$ [kPa]	$\sigma_1$ [kPa]	$ff_c$ [-]
AAM*	17,24	262 ± 2	18	23	2,04	4,6	27,4	6,0
	13,03	262 ± 0	19	24	2,11	4,5	21,3	4,7
	8,83	258 ± 0	20	27	1,64	3,8	15,2	4,0
	4,62	257 ± 1	23	30	0,91	2,2	8,7	4,0
ABM*	17,24	395 ± 2	21	25	1,78	4,2	29,1	6,9
	13,03	393 ± 1	21	26	1,69	3,9	22,5	5,8
	8,83	388 ± 2	22	28	1,24	2,9	15,8	5,4
	4,62	385 ± 1	27	30	0,46	1,0	8,8	8,8
ACM*	17,24	547 ± 1	23	28	2,18	5,1	30,6	6,0
	13,03	544 ± 1	23	27	1,18	2,9	23,1	8,0
	8,83	533 ± 1	23	28	1,12	2,7	15,8	5,9
	4,62	531 ± 2	28	34	0,54	2,3	9,7	4,2

Objaśnienia: Explanatory notes:

\* Aglomeracja odżywek wodą jako cieczą nawilżającą / Agglomerating baby food using water as a moistening liquid

$\sigma_E$  – napężenie konsolidujące / consolidating stress;  $\rho_k$  – gęstość nasypowa materiału skonsolidowanego / bulk density of consolidated material;  $\varphi$  – kinetyczny kąt tarcia wewnętrznego / kinetic angle of internal friction;  $\delta$  – efektywny kąt tarcia wewnętrznego / effective angle of internal friction; C – kohezynność / cohesion;  $\sigma_c$  – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie / unconfined yield strength;  $\sigma_1$  – główne napężenie konsolidujące / major consolidating stress;  $ff_c$  – indeks płynięcia / flow index

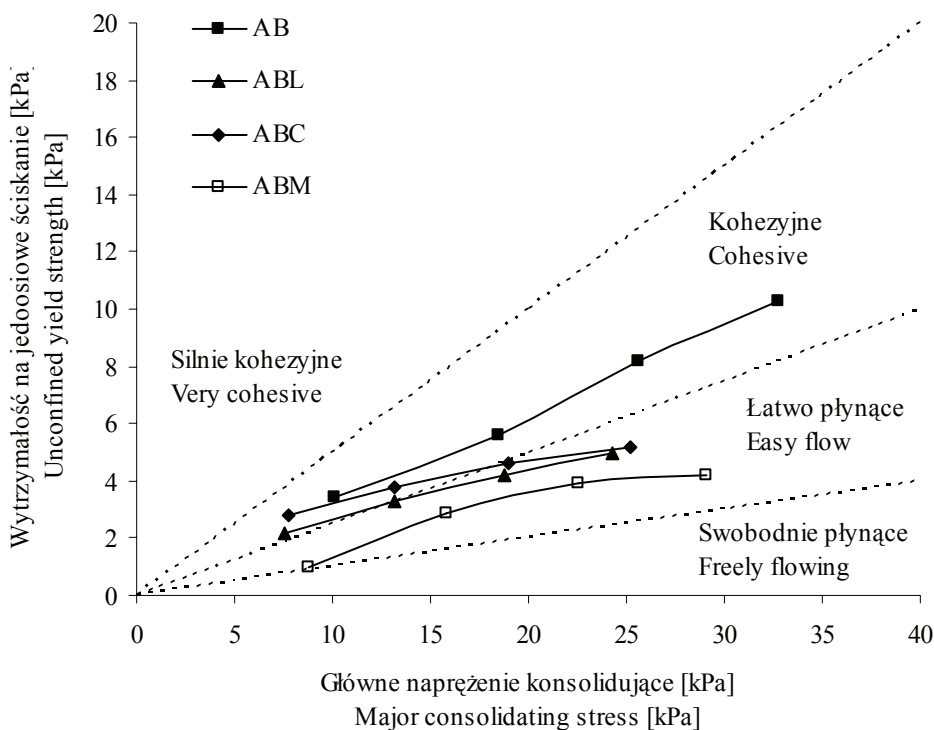


Rys. 2. Funkcja płynięcia odżywki w proszku dla dzieci AA aglomerowanej: wodą (AA), 2 % wodnym roztworem lecytyny (AAL), 50 % wodnym roztworem cukru (AAC) w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym i aglomerowanej wodą (AAM) w mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym.

Fig. 2. Flow function of 'AA' baby good powder agglomerated using: water (AA), 2 % lecithin solution (AAL), 50 % water solution of sugar (AAC) in a pneumatically generated fluidized bed, as well as agglomerated using water (AAM) in a mechanically generated fluidized bed.

Na rys. 2., 3. i 4. przedstawiono funkcje płynięcia badanych aglomeratów sproszkowanych odżywek dla dzieci oraz zobrazowano rozkład zdolności do płynięcia badanych odżywek, dzieląc obszar wykresu na części odpowiadające granicznym wartościom indeksu płynięcia ( $ff_c$ ), zgodnie z kryterium podanym przez Jenike i Carson [8]. Średni indeks płynięcia ( $ff_c$ ) badanych aglomeratów otrzymanych w stosowanym przedziale naprężenia konsolidującego wynosił odpowiednio 2,8 - 3,2 w stosunku do odżywek aglomerowanych wodą w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym (AA, AB, AC); 3,9 - 5,5 w odniesieniu do odżywek aglomerowanych 2 % wodnym roztworem lecytyny w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym (AAL, ABL, ACL); 2,4 - 4,4 w odżywkach aglomerowanych 50 % wodnym roztworem cukru w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym (AAC, ABC, ACC) oraz 4,7 - 6,7 w odżywkach aglomerowanych wodą w mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym (AAM,

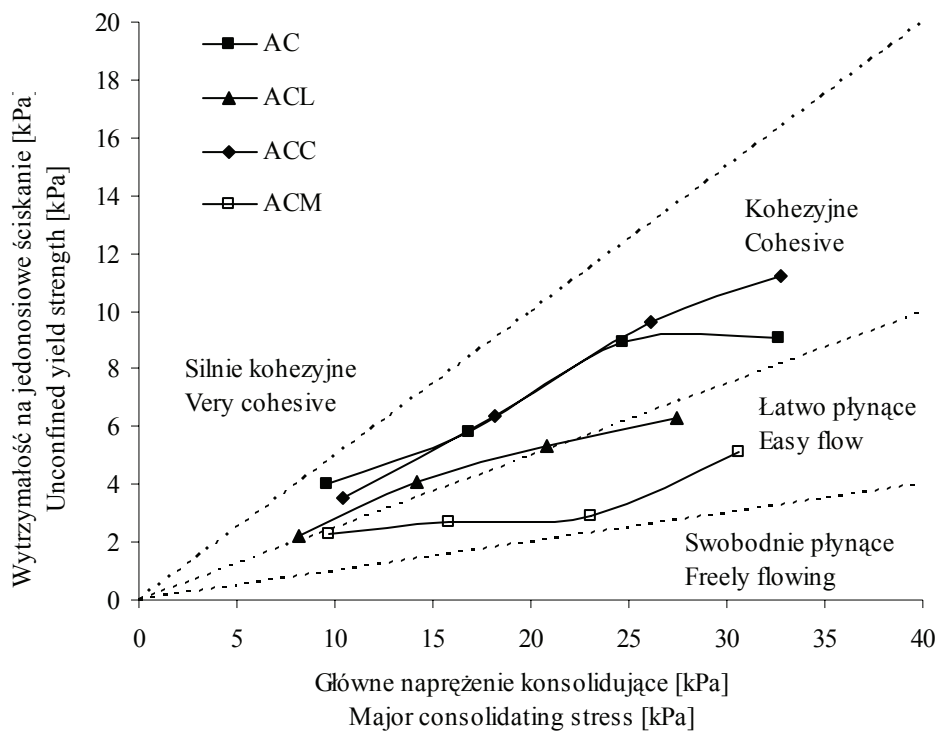
ABM, ACM). Funkcje płynięcia aglomeratów sproszkowanych odżywek dla dzieci aglomerowanych 50 % roztworem cukru w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym oraz aglomeraty aglomerowane wodą w mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym znajdują się w obszarze  $4 < ff_c < 10$ , co świadczy o tym, że są to materiały słabo kohezyjne, łatwo płynące. Funkcje płynięcia utworzonych aglomeratów modelowych sproszkowanych odżywek dla dzieci aglomerowanych wodą i 2 % wodnym roztworem lecytyny w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym znajdują się w obszarze  $2 < ff_c < 4$ , co klasyfikuje badane materiały jako aglomeraty kohezyjne, trudno płynące (rys. 2, 3 i 4).



Rys. 3. Funkcja płynięcia odżywki w proszku dla dzieci AB aglomerowanej: wodą (AB), 2 % wodnym roztworem lecytyny (ABL), 50 % wodnym roztworem cukru (ABC) w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym i aglomerowanej wodą (ABM) w mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym.

Fig. 3. Flow function of 'ABM' baby food powder agglomerated using: water (AB), 2 % lecithin solution (ABL), 50 % water solution of sugar (ABC) in a pneumatically generated fluidized bed, as well as agglomerated using water (ABM) in a mechanically generated fluidized bed.





Rys. 4. Funkcja płynięcia odżywki w proszku dla dzieci AC aglomerowanej: wodą (AC), 2 % wodnym roztworem lecytyny (ACL), 50 % wodnym roztworem cukru (ACC) w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym i aglomerowanej wodą (ACM) w mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym.

Fig. 4. Flow function of 'AC' baby food powder agglomerated using: water (AC), 2 % lecithin solution (ACL), 50 % water solution of sugar (ACC) in a pneumatically generated fluidized bed, as well as agglomerated using water (ACM) in a mechanically generated fluidized bed.

## Wnioski

1. Parametry plastycznego płynięcia uzyskane z testów bezpośredniego ścinania i charakteryzujące właściwości reologiczne aglomerowanych odżywek dla dzieci zależą od składu surowcowego odżywek, sposobu aglomeracji i rodzaju cieczy nawilżającej użytej w tym procesie oraz przyjętego zakresu naprężeń konsolidujących.
2. Test jednoosiowego ścinania pozwolił scharakteryzować właściwości reologiczne badanych aglomeratów sproszkowanych odżywek dla dzieci i wykazał różne właściwości kohezyjne tych materiałów. Funkcja płynięcia określa utworzone aglomeraty sproszkowanych odżywek dla dzieci jako materiały słabo kohezyjne, łatwo

płynące oraz jako materiały kohezyjne, trudno płynące w zależności od naprężenia konsolidującego.

3. W badanych odżywkach – aglomeratach – wraz ze wzrostem naprężenia konsolidującego wzrastała wytrzymałość materiału, kohezyjność, gęstość oraz indeks płynięcia, malał jedynie kąt tarcia wewnętrzznego niezależnie od składu surowcowego odżywek, sposobu aglomeracji i rodzaju cieczy nawilżającej (woda, 2 % wodny roztwór lecytyny, 50 % roztwór cukru).

*Praca naukowa finansowana ze środków MNiSzW na naukę w latach 2007 - 2009 jako projekt badawczy; była prezentowana podczas XIII Ogólnopolskiej Sesji Sekcji Młodej Kadry Naukowej PTTŻ, Łódź, 28 - 29 maja 2008 r.*

### Literatura

- [1] Al Mahdi R., Nasirpour A., Banon S., Scher J., Desobry S.: Morphological and mechanical properties of dried skimmed milk and wheat flour mixtures during storage. *Powder Technol.*, 2006, **163**, 145-151.
- [2] Domian E., Koper T., Lenart A.: Wpływ sposobu suszenia na płynięcie kaw rozpuszczalnych, *Acta Agrophysica*, 2004, **3(3)**, 315-324.
- [3] Domian E.: Właściwości modelowej żywności w proszku w aspekcie metody aglomeracji. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, **4 (45)**, 87-97.
- [4] Faqih A. N., Alexander A. W., Muzzio F. J., Tomassone M. S.: A method for predicting hopper flow characteristics of pharmaceutical powders. *Chem. Eng. Sci.*, 2007, **62**, 1536-1542.
- [5] Fitzpatrick J.J., Barringer S.A., Iqbal T.: Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. *J. Food Eng.*, 2004, **61**, 399-405.
- [6] Fitzpatrick J.J., Barry K., Cerqueira P.S.M., Iqbal T., O'Neill J., Roos Y.H.: Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders. *Int. Dairy J.*, 2007, **17**, 383-392.
- [7] Freitas-Eduardo M., Silva-Lannes S.C.: Use of texture analysis to determine compaction force of powders. *J. Food Eng.*, 2007, **80**, 568-572.
- [8] Jenike A.W., Carson J.: Measurement principles of the flowability of powders. *Advance Ceramic*, 1985, **21**, 759-766.
- [9] Juliano P., Muhunthan B., Barbosa-Cánovas G.V.: Flow and shear descriptors of preconsolidated food powders. *J. Food Eng.*, 2006, **72**, 157-166.
- [10] Kowalska J., Lenart A., Dobrowolska J.: Wpływ czasu przechowywania na właściwości fizyczne i stabilność kakao z dodatkiem kwasu L-askorbinowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2006, **1 (46)**, 83-89.
- [11] Poszytek K., Lenart A.: Wpływ aglomeracji na właściwości fizyczne kaszek mleczno-zbożowych w proszku dla dzieci. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2002, **2 (43) Supl.**, 156-163.
- [12] Turchiuli Ch., Eloualia Z., El Mansouri N., Dumoulin E.: Fluidised bed agglomeration: Agglomerates shape and end-use properties. *Powder Technol.*, 2005, **157**, 168-175.
- [13] Zander Z., Warechowski J.: Niestabilność ruchu proszku w bębnie obrotowym jako miara jego zdolności płynięcia. *Inż. Roln.*, 2005, **9 (69)**, 405-411.

**RHEOLOGICAL PROPERTIES OF AGGLOMERATED FOOD POWDERS FOR CHILDREN****S u m m a r y**

In the reported study, the effect was investigated of raw material composition, agglomeration method, and type of moistening liquid on the rheological properties of agglomerated baby food powders. The agglomeration process was performed using two methods: in a pneumatically and in a mechanically generated fluidized bed. The model food powders were mixtures composed of such powders as: milk powder, rice gruels, icing sugar, and strawberry powder. The measurements were carried out using a uniaxial shear test according to the measuring procedure conformable with the theory of Jenike, at four levels of consolidating stress in the range of 4.6-17.2 kPa. The following parameters of plastic flow of the agglomerates of baby food examined were determined: cohesion, internal angle of friction, unconfined yield strength, the highest consolidating stress, and flow index. The unconfined yield stress test made it possible to characterize the rheological properties of food powders for children analysed and to show various cohesive properties of those materials. Based on the flow function, the produced agglomerates of food powders for children are described as poorly cohesive, not easily flowing depending on the consolidating stress.

**Key words:** flow function, shear test, agglomeration, food powders ✕