

SYPKOŚĆ AGLOMEROWANEJ MODELOWEJ ŻYWNOŚCI W PROSZKU*

Ewa Domian

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Technologii Żywności, SGGW
ul. Nowoursynowska 159c, 02-787 Warszawa
e-mail: domian@alpha.sggw.waw.pl

Streszczenie. Celem badań było określenie wpływu aglomeracji nawilżeniowej w złożu fluidalnym na sypkość otrzymywanych aglomeratów modelowej żywności w proszku. Aglomerację przeprowadzono dwoma metodami: w aglomeratorze STREA 1/Nitro-Aeromatic AG (pneumatycznie generowane złoże fluidalne) i w laboratoryjnym mieszalniku lemieszowo-śluzującym Plughshare Mixer L5/Lödige (mechanicznie generowane złoże fluidalne). Analiza sypkości obejmowała takie wyróżniki sypkości jak: współczynnik Hausnera, współczynnik Carra, czas wysypu z obracającego się naczynia. Modelową żywność w proszku stanowiły mieszaniny tworzone na bazie popularnych na rynku proszków spożywczych, jak serwatka, izolat białka sojowego, izolat białek serwatkowych, glukoza, proszek mleczny, tłuszcz roślinny. Analiza sypkości na podstawie wybranych wyróżników sypkości potwierdziła zróżnicowanie pod względem sypkości proszku i granulatu. Zmiana w składzie mieszaniny polegająca na jakościowej czy ilościowej zmianie zawartości białka czy węglowodanu oraz zmiana metody aglomeracji nie ma istotnego odzwierciedlenia w wartościach wyznaczonych wyróżników sypkości. Modelowa żywność w formie drobnoziarnistego proszku cechowała się słabą sypkością. Aglomeracja wodą badanych wieloskładnikowych mieszanin proszków spożywczych, zarówno w pneumatycznie jak i w mechanicznie generowanym złożu fluidalnym, powoduje wielokrotne powiększenie średniej średnicy cząstek oraz istotne obniżenie gęstości nasypowej i poprawę sypkości. Mieszaniny aglomerowane, niezależnie od metody aglomeracji, składu mieszaniny i upakowania wykazały bardzo dobrą sypkość.

Słowa kluczowe: żywność w proszku, aglomeracja, sypkość

WYKAZ OZNACZEŃ

d_{50} – średnia średnica cząstek (μm),
 ρ_L – gęstość nasypowa luźna ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),
 ρ_{T10} – gęstość nasypowa utręszona 10 krotnie ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),

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

ρ_{T100} – gęstość nasypowa utrząsiona 100 krotnie ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),

ρ_{T1250} – gęstość nasypowa utrząsiona 1250 krotnie ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),

I_H – współczynnik Hauser'a (–), gdzie:

$$I_{H10} = \rho_{T10} \cdot \rho_L^{-1},$$

$$I_{H100} = \rho_{T100} \cdot \rho_L^{-1},$$

$$I_{H1250} = \rho_{T1250} \cdot \rho_L^{-1},$$

I_C – współczynnik Carr'a (%), gdzie:

$$I_{C10} = (\rho_{T10} - \rho_L) \cdot \rho_{T10}^{-1} \cdot 100,$$

$$I_{C100} = (\rho_{T100} - \rho_L) \cdot \rho_{T100}^{-1} \cdot 100,$$

$$I_{C1250} = (\rho_{T1250} - \rho_L) \cdot \rho_{T1250}^{-1} \cdot 100,$$

I_S – sypkość jako czas wysypu (s),

x – zawartość wody (%).

WSTĘP

Produkty w proszku stanowią grupę systemów zdyspergowanych o ogromnym znaczeniu praktycznym [17]. Charakterystyka jakościowa proszków najczęściej obejmuje aspekty związane z ich obrotem, jak też aspekty związane z odtwarzaniem w cieczy. Celem powiększania rozmiarów cząstek poprzez aglomerację jest polepszenie pewnych właściwości fizycznych systemu zdyspergowanego [6,12]. Dla cząstek ciał stałych, takie właściwości jak gęstość nasypowa, sypkość, dozowność, unikanie segregacji składników czy tworzenia pyłu mają podstawowe znaczenie. Ponadto artykuły spożywcze w proszku z przeznaczeniem do dyspersji w płynie powinny charakteryzować się właściwościami instant, co oznacza ich dobrą zwilżalność, opadalność, dyspergowalność i rozpuszczalność [4,16]. Zależnie od metody aglomeracji powyższe kryteria są spełniane w różnym stopniu.

Polepszenie wszystkich właściwości jakościowych jednocześnie nie jest możliwe. Zwiększenie stabilności mechanicznej (struktury) aglomeratu zazwyczaj wiąże się z pogorszeniem właściwości instant [16]. Sposób formowania aglomeratów w danym procesie determinuje ich właściwości [7,14]. W tworzeniu stabilnych aglomeratów, pierwotne cząstki najpierw muszą być doprowadzone do wzajemnego kontaktu, co zazwyczaj uzyskuje się poprzez siły zewnętrzne, a następnie muszą być zapewnione trwałe siły łączące cząstki, silniejsze niż jakiegokolwiek istniejące siły rozrywające. Trwałość i intensywność sił łączących ma zasadniczy wpływ na stabilność i porowatość aglomeratów. Proces aglomeracji, w którym na cząstki działają wysokie siły zewnętrzne, daje stabilne, łatwe w obrocie i dozowaniu aglomeraty w postaci gęstych i gładkich granul. Jednak właściwości instant są niskie z powodu małej porowatości granul i dużych sił wiążących pierwotne cząstki. Każda metoda aglomeracji wyróżnia się szczególnymi mechanizmami wiążącymi dając aglomeraty o specyficznych cechach jakościowych [7,12].

Niezwykle istotną właściwością mechaniczną proszków jest ich zdolność do płynięcia określana mianem sypkości. Główne siły działające na materiał w czasie jego płynięcia to siły grawitacji, siły kohezji między cząstkami oraz siły adhezji odpowiadające za przyleganie cząstek do powierzchni, a także tarcie zewnętrzne [11]. Do oceny sypkości proszków mają wykorzystanie takie wyróżniki jak: kąt zsypu, kąt naturalnego usypu, sypkość jako czas wysypu proszku z obracającego się naczynka, współczynniki Hausner'a i Carr'a związane z gęstością nasypową luźną i utrzęsioną [1,2,5,8,9,20]. Sypkość proszków jest warunkowana wieloma czynnikami, takimi jak, właściwości fizykochemiczne materiału, w tym wielkość, kształt i struktura cząstek, a także wilgotność, czas przechowywania, konsolidacja czy charakter opakowania [10,15,18,21,22].

Celem pracy było zbadanie wpływu aglomeracji nawilżeniowej poprzez mieszanie w pneumatycznie i mechanicznie generowanym złożu fluidalnym na sypkość otrzymywanych aglomeratów na przykładzie modelowej żywności w proszku.

MATERIAŁY I METODY

Materiał badawczy, modelową żywność w proszku, stanowiły mieszaniny tworzone na bazie popularnych na rynku proszków spożywczych, jak serwatka (S), izolat białka sojowego (IBSj), izolat białek serwatkowych (IBSw), glukoza (Glu), tłuszcz roślinny w proszku (TP), proszek mleczny (PM). Mieszaniny w ułamkach masowych zawierały: A (S 0,66 IBSj 0,34), B (IBSw 0,16 Glu 0,50 IBSj 0,34), C (S 0,34 IBSj 0,66), D (IBSw 0,18 Glu 0,26 IBSj 0,66), F (S 0,49 IBSj 0,25 TP 0,26), PM (PM 1). Badane mieszaniny różniły się składem pod względem ilościowej czy jakościowej zawartości białka oraz węglowodanów. Ogólna zawartość białka i węglowodanów wynosiła odpowiednio 37 i 50% dla mieszanin A, B i PM oraz 66 i 22 % dla mieszanin C i D. Mieszanina F oprócz 26% białka i 39% węglowodanów, zawierała 26% rafinowanego tłuszczu palmowego.

Aglomerację przeprowadzono dwoma metodami: w aglomeratorze STREA 1/Niro-Aeromatic AG (pneumatycznie generowane złożo fluidalne) i w laboratoryjnym mieszalniku lemieszowo-płującym PLUGHSHARE MIXER L5/Lödige (mechanicznie generowane złożo fluidalne). Parametry procesu aglomeracji w STREA 1 były następujące: wsad – masa mieszaniny 300 g; ciecz nawilżająca – 60g woda; temperatura powietrza wlotowego 50°C; strumień przepływu powietrza przez złożo od 50 do 80 m³·h⁻¹; ciśnienie sprężonego powietrza w dyszy rozpylającej 50 kPa; nawilżanie z przerwami w czasie do 10 minut; suszenie aglomeratu 15 minut przy temperaturze powietrza wlotowego 50°C. Aglomerację w PLUGHSHARE MIXER L5 przeprowadzano przy parametrach: wsad – masa mieszaniny 400 g; ciecz nawilżająca – woda 70 g; temperatura granulacji 22°C; prędkość mieszadła impellerowego 200 obr·min⁻¹; czas granulacji 3 min, ciśnienie

sprężonego powietrza w dyszy rozpylającej 50 kPa; suszenie aglomeratu 30 minut przy temperaturze powietrza wlotowego 50°C.

Dla każdego rodzaju mieszaniny w formie proszku oraz aglomeratu (frakcji użytecznej o rozmiarach cząstek 0,2-2 mm) oznaczono trzy wyróżniki sypkości: współczynnik Hausner'a I_H [-], odpowiednio $I_{H10} = \rho_{T10} \cdot \rho_L^{-1}$, $I_{H100} = \rho_{T100} \cdot \rho_L^{-1}$ oraz $I_{H1250} = \rho_{T1250} \cdot \rho_L^{-1}$; współczynnik Carr'a I_C [%], odpowiednio $I_{C10} = (\rho_{T10} - \rho_L) \cdot \rho_{T10}^{-1} \cdot 100$, $I_{C100} = (\rho_{T100} - \rho_L) \cdot \rho_{T100}^{-1} \cdot 100$ oraz $I_{C1250} = (\rho_{T1250} - \rho_L) \cdot \rho_{T1250}^{-1} \cdot 100$; sypkość I_s , jako czas potrzebny do wysypu 25 cm³ proszku przez szczeliny obracającego się naczynia [2,9,13,19].

Wymiar cząstek aglomeratów oznaczano przy zastosowaniu analizatora wielkości cząstek ciał stałych w powietrzu AWK – V 97 / Kamika Warszawa, zaś wymiar cząstek mieszaniny nieaglomerowanej przy zastosowaniu Master Sizer Microplus, Malvern Instruments. Gęstość nasypową luźną ρ_L i utrzęsioną ρ_T [DIN 66145] oznaczono z wykorzystaniem objętościomierza wstrząsowego STAV 2003 / Engelsmann AG, Germany.

WYNIKI

Wielkość cząstek odgrywa szczególną rolę, gdyż wykazuje ona związek nie tylko z cechami użytkowymi proszku, lecz także decyduje o jego zachowaniu się podczas dalszych procesów. Rozmiar cząstek jest jedną z najistotniejszych właściwości definiujących sypkość proszków. Gdy średnica cząstek przekracza 200 µm, proszki mogą charakteryzować się dobrą sypkością, natomiast proszki drobne zalicza się do proszków kohezyjnych, a ich dozowanie jest trudniejsze [11,15]. W tabeli 1 zestawiono wartości średniej średnicy d_{50} badanych mieszanin odpowiednio w formie proszku oraz aglomeratu. Średnią średnicę d_{50} przyjmowano jako medianę skumulowanego rozkładu udziałów objętościowych. Wyniki pokazują, że mieszaniny proszków spożywczych, zdecydowanie różniących się pochodzeniem i składem chemicznym mogą być podobne pod względem własności fizycznych. Proces aglomeracji zmienia skład granulometryczny w stronę większych cząstek. Średnia d_{50} wynosi: 52-75 µm dla mieszanin nieaglomerowanych, 346-506 µm dla mieszanin aglomerowanych w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym i 351-968 µm dla mieszanin aglomerowanych w mechanicznie generowanym złożu fluidalnym. Aglomeracja badanych mieszanin w STREA 1 zwiększyła wymiar charakterystyczny cząstek średnio 5-8 razy, natomiast aglomeracja w PLUGHSHARE MIXER średnio 6-17 razy.

Gęstość nasypowa umożliwia ocenę stopnia wypełnienia materiałami sypkimi zbiorników i opakowań. Określenie tego parametru wykorzystuje się do charakterystyki materiałów. Gęstość nasypowa proszków, granulatów czy innych sypkich materiałów silnie zależy od upakowania cząstek [1,10,11]. Gęstość nasypowa luźna ρ_L określa objętość proszku luźno przesypanego razem z objętością przestrzeni

między cząstkami proszku. Aby poprawić upakowanie proszku stosuje się „postukiwanie”. W wyniku ubijania mniejsze cząstki przechodzą w puste przestrzenie pomiędzy większymi, objętość proszku zmniejsza się. Obliczona gęstość materiału standardowo upakowanego (utrząsionego) jest tak zwaną gęstością nasypową utrząsioną ρ_T . Wyróżnia się gęstość nasypową wstrząsaną odpowiednio 10, 100 lub 1250 razy [13,19]. Zgodnie z normą pomiar gęstości nasypowej utrząsionej polega na doprowadzeniu znanej masy materiału sypkiego do najmniejszej objętości poprzez zastosowanie drgań o stałej amplitudzie i częstotliwości [2,9,10]. Zastosowanie 1250 krotnych wstrząsań w urządzeniu STAV 2003/Engelsmann AG spełnia powyższe wymagania. Stąd w niniejszym opracowaniu gęstość ρ_{T1250} określa właściwą gęstość nasypową utrząsioną dla ubitego złoża materiału, zaś gęstość nasypowa ρ_{T10} i ρ_{T100} (wstrząsana odpowiednio 10 i 100-krotnie) określa gęstość złoża materiału sypkiego w stanie zwartym.

Gęstość nasypowa luźna i utrząsiona mieszanin nieaglomerowanych wynosiła odpowiednio ρ_L 295-473 i ρ_{T1250} 485-638 kg·m⁻³. Aglomeracja badanych mieszanin zdecydowanie obniża ich gęstość nasypową, niezależnie od rodzaju mieszaniny i metody aglomeracji. Gęstość nasypowa luźna i utrząsiona aglomeratów otrzymanych w STREA 1 (mieszanie pneumatyczne) wynosi odpowiednio ρ_L 235-314 i ρ_{T1250} 278-362 kg·m⁻³, zaś aglomeratów otrzymanych w PLUGHSHARE MIXER (mieszanie mechaniczne) odpowiednio ρ_L 360-431 i ρ_{T1250} 396-477 kg·m⁻³ (tab. 1). Bardziej znaczące obniżenie gęstości nasypowej zaobserwowano dla aglomeracji w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym. Spadek gęstości ρ_{T1250} wynosił odpowiednio o 34-56% dla STREA 1 i o 7-38% dla PLUGHSHARE MIXER. W przypadku gęstości nasypowej luźnej aglomeracja w STREA 1 powoduje obniżenie ρ_L o 8-50%, natomiast aglomeracja w PLUGHSHARE MIXER wywołuje podwyższenie ρ_L o 6-25% oraz obniżenie ρ_L o 35% tylko w przypadku proszku mlecznego. Istotnie niższą gęstość nasypową aglomeratów otrzymywanych w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym można wyjaśnić większą porowatością i nieregularnością kształtu cząstek tych aglomeratów [7,14,16].

Gęstość nasypowa badanych mieszanin, zarówno w formie proszku jak i aglomeratów, zwiększa się wraz z rosnącym upakowaniem materiału, przy czym bardziej znaczący wzrost gęstości występuje dla proszków (tab. 1). Wraz ze wzrostem liczby „postukiwań”, gęstość nasypowa ρ_{T0} , ρ_{T100} i ρ_{T1250} zwiększa się w odniesieniu do ρ_L odpowiednio o 5-11, 17-39 i 35-65% dla proszków oraz o 3-12, 6-20 i 10-23% dla aglomeratów.

Z gęstością nasypową luźną i utrząsioną związane są współczynniki Hausner'a I_H i Carr'a I_C będące wskaźnikami sypkości proszków. Jeśli współczynnik I_H jest większy niż 1,4 to jest prawdopodobne, że proszek ma wszystkie własności spójnego proszku. Materiały charakteryzujące się współczynnikiem I_H mniejszym od 1,25 określane są jako proszki o dobrej sypkości. Kiedy wielkość cząstek

zmniejsza się poniżej 100 μm następuje znaczny wzrost współczynnika Hausner'a. Im większa wartość tego współczynnika tym spójniejszy proszek z powodu wzrastających sił międzycząsteczkowych [1,9,14,15]. Wartości współczynnika Carr'a I_C mieszczące się w odpowiednich zakresach określają sypkość danego materiału jako: bardzo dobrą ($I_C < 18$), średnią (I_C 18-25), słabą (I_C 25-30) i bardzo słabą ($I_C > 30$) [2,8].

Tabela 1. Wpływ aglomeracji na średnią średnicę d_{50} i gęstość nasypową ρ badanych mieszanin w proszku
Table 1. Influence of agglomeration on particle size d_{50} and bulk density ρ of tested food powders

Aglomerat Agglomerate	Materiał ^{a)} Material ^{a)}	x (%)	d_{50} (μm)	ρ_L ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	ρ_{T10} ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	ρ_{T100} ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	ρ_{T1250} ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
Proszek Powder		3,2±0,2	53±1	408±3	446±5	556±1	616±4
	A	8,0±0,1	66±1	352±7	382±6	482±4	555±4
	B						
	C	5,0±0,5	52±1	316±9	345±8	432±7	512±9
	D	7,1±0,1	49±1	295±4	325±6	407±6	485±4
	F	4,6±0,2	75±1	377±11	418±8	524±10	568±2
	PM	5,6±0,1	56±1	473±6	495±6	555±6	538±8
STREA 1		2,9±0,6	380±1	305±4	318±6	327±4	335±6
	A	8,4±0,6	346±3	314±6	337±7	351±8	362±7
	B						
	C	4,8±0,2	384±3	290±1	315±3	329±4	337±5
	D	7,2±0,2	340±3	250±2	277±3	297±7	304±15
	F	2,3±0,5	506±15	282±4	308±1	324±2	330±12
	PM	4,3±0,1	467±3	235±2	253±2	266±3	278±4
LÖDIGE MIXER		8,8±0,2	604±13	431±6	448±6	462±6	477±6
	A	12,1±0,9	417±16	383±3	403±3	411±1	420±1
	B						
	C	10,1±0,1	351±12	378±1	406±3	419±2	425±3
	D	13,4±0,2	385±6	368±1	411±3	443±3	453±3
	F	8,2±0,2	604±34	404±3	440±4	461±4	476±4
	PM	5,73±0,2	968±39	360±3	369±4	382±3	396±3

^{a)} skład surowcowy w metodyce – raw material composition,

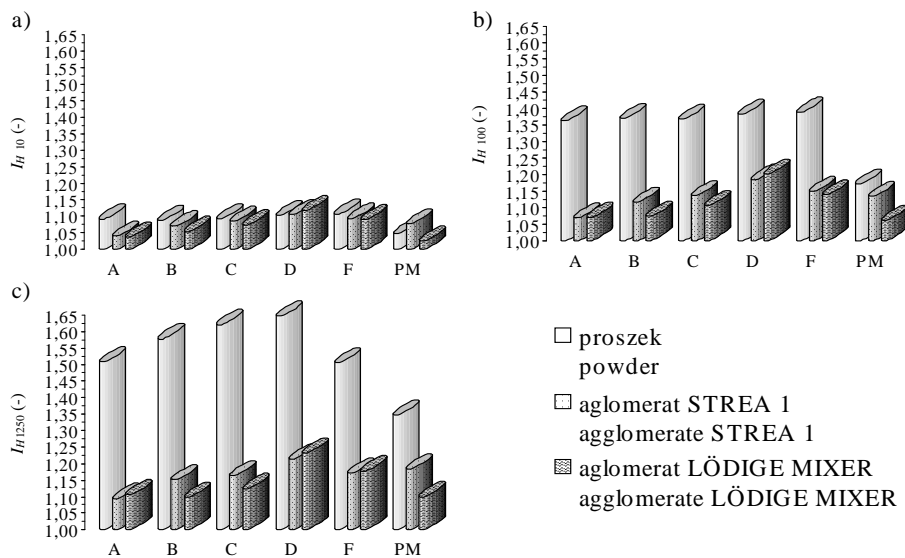
x – zawartość wody, d_{50} – średnia średnica cząstek, ρ_L – gęstość nasypowa luźna, ρ_{T10} – gęstość nasypowa utrząsiona 10 krotnie, ρ_{T100} – gęstość nasypowa utrząsiona 100 krotnie, ρ_{T1250} – gęstość nasypowa utrząsiona 1250 krotnie,

x – moisture content, d_{50} – mean particle size, aw – water activity, ρ_L – loose bulk density, ρ_{T10} – tapped bulk density after 10 taps, ρ_{T100} – tapped bulk density after 100 taps, ρ_{T1250} – tapped bulk density after 1250 taps.

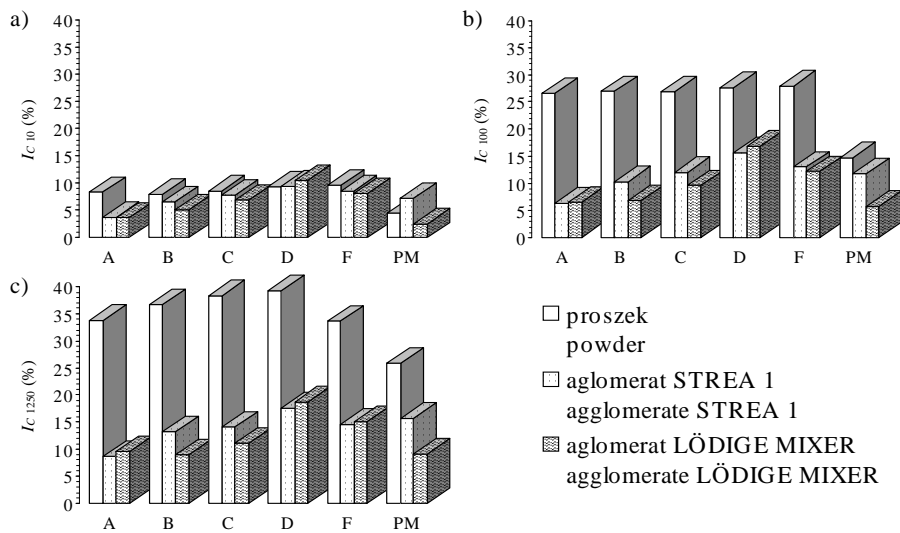
Dla badanej modelowej żywności A, B, C, D, F i PM (w formie proszku i aglomeratów) wyznaczono współczynniki Hausner'a i Carr'a, gdzie odpowiednio współczynniki I_{H10} , I_{H100} , I_{C10} i I_{C100} odnoszą się do zwartej ziarnki materiału (współczynniki liczone względem gęstości nasypowej luźnej ρ_L i utrzęsionej ρ_{T10} , ρ_{T100}), zaś współczynniki I_{H1250} i I_{C1250} (liczone względem ρ_L i ρ_{T1250}) odnoszą się do maksymalnie ubitego, upakowanego ziarnki materiału. Na rysunku 1 i 2 przedstawiono wartości wyznaczonych współczynników Hausner'a i Carr'a dla badanych materiałów.

Sypkość badanej modelowej żywności w formie proszku zależy od stopnia upakowania ziarnki. Nieaglomerowane mieszaniny A, B, C, D i F zachowują dobrą sypkość tylko przy bardzo niewielkim upakowaniu, gdyż I_{H10} przyjmuje wartości mniejsze od 1,25 w zakresie 1,09-1,11 oraz I_{C10} przyjmuje wartości mniejsze od 18 w zakresie 8,0-9,6 (rys. 1a i rys. 2a). Współczynniki I_{H100} 1,36-1,39 i I_{C100} 26,6-28,0 dla ziarnki zwartej przekraczające graniczne wartości 1,25 i 25 określają te mieszaniny jako proszki kohezyjne, o słabej sypkości (rys. 1b i rys. 2b). Natomiast współczynniki I_{H1250} 1,51-1,65 i I_{C1250} 33,6-39,3 dla ubitego ziarnki proszku przewyższające wartości 1,4 i 30, charakteryzują nieaglomerowane mieszaniny jako proszki o bardzo słabej sypkości (rys. 1c i rys. 2c). Mieszaniny A, B, C, D i F w formie proszku, różniące się ilościową i jakościową zawartością białka i węglowodanów, okazują się proszkami o bardzo podobnej sypkości. Nieaglomerowany proszek mleczny PM (odpowiednik mieszanin A i B pod względem ogólnej ilości białka i węglowodanów) charakteryzuje się lepszą sypkością. Współczynniki I_{H10} 1,05 i I_{H100} 1,17 oraz I_{C10} 4,5 i I_{C100} 14,7 dla ziarnki zwartej określają proszek mleczny jako łatwo sypki, zaś współczynniki I_{H1250} 1,35 i I_{C1250} 25,8 dla ubitego ziarnki jako średnio sypki (rys. 1a,b,c i rys. 2a,b,c). Aglomerowana modelowa żywność w proszku, niezależnie od charakteru i składu mieszaniny, metody aglomeracji i stanu upakowania, wykazuje bardzo dobrą sypkość, gdyż I_{H10} , I_{H100} i $I_{H1250} < 1,25$ oraz I_{C10} , I_{C100} i $I_{C1250} < 18$ (rys. 1a,b,c i rys. 2a,b,c).

Dla badanych materiałów określono również wskaźnik sypkości I_s , jako czas wysypu 25 cm³ proszku ze szczeliny naczynka obracającego się z prędkością 30 obr·min⁻¹, według metodyki NIRO [13,19]. Wyróżnik I_s , charakteryzuje sypkość materiału w warunkach dynamicznych, podobnych do przesypywania i transportu mechanicznego materiałów sypkich i nie wymaga konsolidacji próbki. Według Warechowskiego [20] analiza przebiegu wysypu proszku z bębna pomiarowego umożliwia ocenę sypkości materiału. Stała czasowa wysypu do 7 s (odpowiadająca wyładunkowi proszku w czasie do 20 s wg kryterium NIRO) pozwala sklasyfikować materiał sypki jako swobodnie płynący. Stała czasowa powyżej 21 s (odpowiadająca czasowi wysypu powyżej 60 s) określa materiał sypki jako trudno płynący.

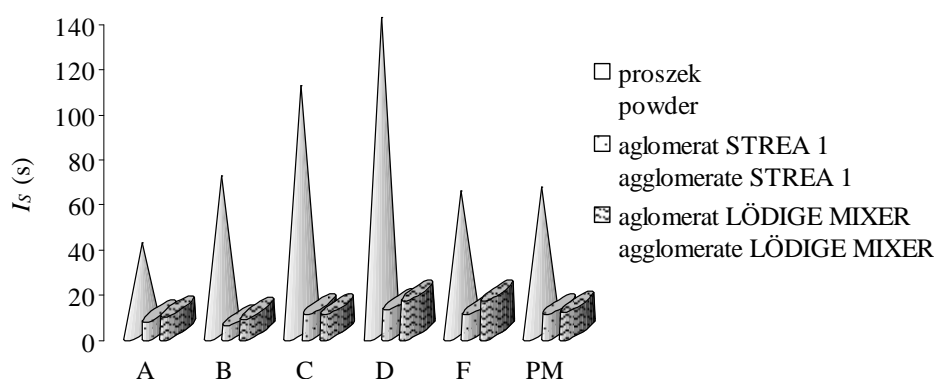


Rys. 1. Wpływ aglomeracji na współczynnik Hausner'a I_H : a) I_{H10} , b) I_{H100} , c) I_{H1250}
Fig. 1. Influence of agglomeration on Hausner ratio I_H : a) I_{H10} , b) I_{H100} , c) I_{H1250}



Rys. 2. Wpływ aglomeracji na współczynnik Carr'a I_C : a) I_{C10} , b) I_{C100} , c) I_{C1250}
Fig. 2. Influence of agglomeration on Carr index I_C : a) I_{C10} , b) I_{C100} , c) I_{C1250}

Wyróżnik sypkości jako czas wysypu charakteryzuje badane mieszaniny w proszku jako słabo sypkie (rys. 3). Mieszanina A wysypuje się w czasie około 40s, zaś mieszaniny B, C, D, F i PM w czasie dłuższym niż 60s. Przy czym należy zauważyć, że mieszaniny C i D zawierające większą ilość białka charakteryzują się 2-3-krotnie dłuższym czasem wysypu, I_S wynosi odpowiednio 108 i 138 s. Ponadto obecność w mieszaninie izolatu białek serwatkowych wiąże się z pogorszeniem sypkości, mieszaniny B i D wysypują się w czasie dłuższym w porównaniu z ich odpowiednikami A i C. Wyróżnik I_S różnicuje pod względem sypkości mieszaniny w proszku i mieszaniny aglomerowane. Modelowa żywność w formie aglomeratów, niezależnie od charakteru i składu chemicznego oraz metody aglomeracji, według wyróżnika I_S wykazuje bardzo dobrą sypkość, gdyż wysypuje się w czasie krótszym niż 20 s.



Rys. 3. Wpływ aglomeracji na sypkość jako czas wysypu I_S

Fig. 3. Influence of agglomeration on flowability as pouring time I_S

WNIOSKI

1. Analiza sypkości na podstawie takich wyróżników jak: współczynnik Hausner'a, współczynnik Carr'a czy sypkość jako czas wysypu z obracającego się naczynia jednoznacznie wskazuje na istotne zróżnicowanie pod względem sypkości proszków i granulatów. Zmiana w składzie mieszaniny polegająca na jakościowej czy ilościowej zmianie zawartości białka czy węglowodanu oraz zmiana metody aglomeracji nie ma istotnego odzwierciedlenia w wartościach wyznaczonych wyróżników sypkości.

2. Modelowa żywność w formie drobnoziarnistego proszku cechowała się słabą sypkością. Aglomeracja wodą badanych wieloskładnikowych mieszanin proszków spożywczych, zarówno w pneumatycznie jak i w mechanicznie

generowanym złożu fluidalnym, powoduje wielokrotne powiększenie średniej średnicy cząstek oraz istotne obniżenie gęstości nasypowej i poprawę sypkości.

3. Mieszaniny aglomerowane, niezależnie od metody aglomeracji, składu mieszaniny i upakowania, według wyznaczonych wyróżników wykazują bardzo dobrą sypkość, gdyż charakteryzują się współczynnikiem Hausner'a mniejszym od 1,25 i współczynnikiem Carr'a mniejszym od 18 oraz wysypują się w czasie krótszym niż 20 sekund.

PIŚMIENNICTWO

1. **Abdullah E.C., Geldart D.:** The use of bulk density measurements as flowability indicators. *Powder Technology*, 102, 151-165, 1999.
2. **Carr R.L.:** Classifying flow properties of solids. *Chemical Engineering*, 72, 69-72, 1965.
3. DIN 66145 Darstellung von Korn – (Teilchen-) grüßender teilungen
4. **Domian E., Grzegorzczak K.:** Wybrane właściwości fizyczne modelowego napoju sojowego w proszku w aspekcie aglomeracji preparatami lecytynowymi. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 43, 31-32, 2004.
5. **Domian E., Janowicz M., Kowalska H., Lenart A.:** Sypkość białkowo-węglowodanowych mieszanin proszków spożywczych aglomerowanych w złożu fluidalnym. *Inżynieria Rolnicza*, 9,11(71), 2005
6. **Domian E.:** Aglomeracja w przemyśle spożywczym. *Przemysł Spożywczy*, 8 (56), 80-86, 88, 2002
7. **Faure A., York P., Rowe R.C.:** Proces control and scale-up of pharmaceutical wet granulation processes: a review. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 52, 269-277, 2001.
8. **Guerin E., Tchoreloff P., Leclerc B., Guerin E., Tanguy D., Deleuil M., Couarraze G.:** Reological characterization of pharmaceutical powders using tap testing, shear cell and mercury porosimeter. *International Journal of Pharmaceutics*, 189, 91-103, 1999.
9. **Hausner H.H.:** Friction conditions in a mass of metal powder. *International Journal of Powder Metallurgy*, 3, 7-13, 1967.
10. **Horabik, J.:** Charakterystyka właściwości fizycznych roślinnych materiałów sypkich istotnych w procesie składowania. *Acta Agrophysica*, 54, 2001.
11. **Peleg M.:** Flowability of food powders and methods for its evaluation – a review. *Journal of Food Process Engineering*, 1, 303-328, 1978.
12. **Pietsch W.:** An interdisciplinary approach to size enlargement by agglomeration. *Powder Technology*, 130, 8-13, 2003.
13. **Pisecky J.:** Handbook of Milk Powder Manufacture Copenhagen Niro A/S, 1997.
14. **Rambali B., Baert L., Massart D.L.:** Using experimental design to optimize the process parameters in fluidized bed granulation on semi – full scale. *International Journal of Pharmaceutics*, 220, 149-160, 2001.
15. **Schubert H.:** Food Particle Technology. Part I: Properties of particles and particulate food systems. *Journal of Food Engineering*, 6 (1), 1-32, 1987.
16. **Schubert H.:** Instantization of powdered foods. *International Chemical Engineering*, 33, (1), 28-45, 1993.
17. **Schubert H., Ax K., Behrend O.:** Product engineering of dispersed systems. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 9-16, 2003.
18. **Seville J.P.K., Willett C.D., Knight P.C.:** Interparticle forces in fluidization. *Powder Technology*, 113, 261-268, 2000.

19. **Soerensen J.H., Krag J., Pisecky J., Westergaard V.:** Analytical methods for dry milk products. A/S Niro Atomizer Copenhagen, Denmark, 1978.
20. **Warechowski J.:** Wpływ warunków procesu aglomeracji na fizyczne i użytkowe właściwości wybranych proszków spożywczych. Rozprawa doktorska, s.150, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, 2000.
21. **Wong A.C.Y.:** Characterisation of the flowability of glass beads by bulk densities ratio. Chemical Engineering Science, 55, 3855-3859, 2000.
22. **Zou Y., Brusewitz G.H.:** Flowability of uncompacted marigold powder as affected by moisture content. Journal of Food Engineering, 55, 165-171, 2002.

EFFECT OF AGGLOMERATION ON FLOWABILITY OF MODELLED FOOD POWDERS

Ewa Domian

Department of Food Engineering and Process Management, Warsaw Agricultural University
ul. Nowoursynowska 159c, 02-787 Warszawa
e-mail: domian@alpha.sggw.waw.pl

Abstract. The effect of wet agglomeration in pneumatically and mechanically fluidised bed of multiple mixtures of food powders on the flowability of received agglomerates was evaluated. Agglomeration was performed using the Niro-Aeromatic STREA 1 and the Lödige Plughshare Mixer L5 as test equipment. Analysis of flow properties included: Hausner ratio, Carr index and flowability as pouring time. Mixtures were created on the basis of the following food powders: whey, soy protein isolate, whey protein isolate, glucose. Powdered mixtures had poor flowability. The wet agglomeration of selected mixtures of food powders did indeed change their size distribution and bulk density. Received agglomerates had good flowability independently from mixtures composition and agglomeration method.

Keywords: agglomeration, food powders, flowability