

SYPKOŚĆ BIAŁKOWO-WĘGLOWODANOWYCH MIESZANIN PROSZKÓW SPOŻYWCZYCH AGLOMEROWANYCH W ZŁOŻU FLUIDALNYM

Streszczenie

Celem projektu było zbadanie wpływu aglomeracji nawilżeniowej w złożu fluidalnym na sypkość otrzymywanych aglomeratów wieloskładnikowych mieszanin proszków spożywczych. Aglomerację przeprowadzono w aglomeratorze STREA 1 / Nitro-Aeromatic AG. Analiza sypkości obejmowała takie wyróżniki sypkości jak: współczynnik Hausera, sypkość jako czas wysypu z obracającego się naczynia, kąt zsypu. Aglomerowane mieszaniny tworzone były na bazie następujących surowców w proszku: serwatka, izolat białka sojowego, izolat białek serwatkowych, glukoza, maltoza. Symulacja składu mieszanin odpowiadała składowi odłuszczonego mleka w proszku oraz odżywki wysokobiałkowej. Nieaglomerowane mieszaniny były proszkami drobnoziarnistymi o słabej sypkości. Otrzymane aglomerowane mieszaniny miały dobrą sypkość niezależnie od składu.

Słowa kluczowe: żywność w proszku, aglomeracja, sypkość

Wprowadzenie

Produkty spożywcze w proszku stanowią formę produktów skoncentrowanych i trwałych. Istnieje potrzeba podwyższania jakości produktów spożywczych w proszku związana z uzyskaniem jej optymalnych właściwości funkcjonalnych, stabilnych w produkcji, w dalszych operacjach technologicznych, obrocie i transporcie czy rehydracji. Sypka forma produktów spożywczych w proszku otrzymanych różnymi metodami i wszystkie cechy związane z tym stanem, które bardzo często decydują o jakości gotowego produktu, połączone są z właściwościami fizycznymi proszków (Domian, Lenart 2001, Schubert 1987, 1993). Do scharakteryzowania materiału sproszkowanego stosuje się kryteria odnoszące się do jego pojedynczych cząstek oraz zbioru cząstek (złoża). Do najważniejszych kryteriów z pierwszej grupy należą: kształt i rozmiar, porowatość, gęstość, struktura pojedynczej cząstki. Parametrami, które opisują złoża są: rozkład wielkości cząstek, gęstość nasypowa i porowatość złoża, powierzchnia właściwa, sypkość, zwilżalność, dyspergowalność i rozpuszczalność, higroskopijność, właściwości mechaniczne i szereg innych. Większość z tych właściwości jest trudna do zdefiniowania i pomiaru.

Drobnoziarniste proszki niejednokrotnie są uciążliwe w stosowaniu. Zastosowanie procesu aglomeracji, polegającego na powiększaniu rozmiarów cząstek stałych poprzez łączenie drobnych cząstek w większe skupiska, umożliwi otrzymywanie produktów spożywczych o pożądanych właściwościach. Powyższe wymagania spełnia uzyskanie granulek o porowatej, otwartej strukturze, nieregularnym kształcie, jednorodnej wielkości, stosunkowo dobrej wytrzymałości mechanicznej. Aglomeracja również stwarza możliwość kreowania nowego produktu atrakcyjnego dla konsumenta.

W procesie aglomeracji proszków spożywczych występują jednak problemy związane z utworzeniem aglomeratów o przypadkowym kształcie i zmiennych właściwościach. Szczególne problemy dotyczą proszków kohezyjnych, popularnych w przemyśle spożywczym charakteryzujących się złożonym składem, zawartością różnych związków chemicznych oraz heterogenicznością i higroskopijnością (Domian 2002, Pietsch 2003, Rambali i wsp. 2001).

Dobór metody aglomeracji i parametrów prowadzenia procesu ma istotne znaczenie. Nawilżeniowa aglomeracja prowadzona w warunkach mieszania mechanicznego lub

pneumatycznego stwarza możliwość aglomeracji mieszanin różnorodnych składników, z których każdy może charakteryzować się innymi właściwościami. Zasadą aglomeracji poprzez mieszanie jest powierzchniowe nawilżenie suchych cząstek proszku, będących w stanie zawieszenia, mgłą drobno - rozpylonej cieczy lub parą wodną. Nawilżone, utrzymane w ciągłym ruchu cząstki zderzają się i wzajemnie przylegają tworząc wilgotne granulki. Natychmiastowe ich suszenie i chłodzenie powoduje trwałe połączenie w porowate, sypkie formy aglomeratów. Wzrost rozmiarów cząstek w tej metodzie związany jest z szeregiem mechanizmów jak, nukleacja, koalescencja i nawarstwianie. Z drugiej strony siły mechaniczne podczas mieszania powodują rozpad granulek poprzez rozbijanie, łamanie, ścieranie, kruszenie. Warunki do tworzenia aglomeratów poprzez mieszanie występują przy pewnej równowadze między siłami wzrostu a siłami rozpadu. Czas i intensywność działania tych sił ma decydujący wpływ na wytrzymałość, porowatość, gęstość zaglomerowanych cząstek. Substancją nawilżającą mogą być różne ciecze. Dobór rodzaju i ilości cieczy dodawanej wymaga wiedzy i doświadczenia (Domian, Grzegorzczak 2004, Seville i wsp. 2000).

Cel i metodyka badań

Celem pracy było zbadanie wpływu aglomeracji nawilżeniowej poprzez mieszanie w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym wieloskładnikowych mieszanin proszków spożywczych na sypkość otrzymywanych aglomeratów.

Aglomerowane mieszaniny tworzone były na bazie następujących surowców w proszku: serwatka (S), izolat białka sojowego (IBSj), izolat białek serwatkowych (IBSw), glukoza (G), suszony syrop maltozowy (M). Sporządzono dwa rodzaje mieszanin A i B, w których ogólna zawartość, białka i węglowodanów, była zróżnicowana. Symulacja składu mieszaniny A odpowiadała składowi odtłuszczonego mleka w proszku. Mieszanina B o charakterze odżywki wysokobiałkowej odpowiadała składem koncentratowi białek mleka w proszku. Mieszaniny A i B reprezentował typ 1, w którym białko kazeiny zastąpiono białkiem sojowym oraz typ 2, w którym białko kazeiny zastąpiono białkiem sojowym a laktozę glukozą i maltozą. Badane mieszaniny w % masowych zawierały: A1 (S 66%, IBSj 34%); A2 (IBSw 16,5%, IBSj 34%, G 24,75%, M 24,75%); B1 (S 34%, IBSj 66%); B2 (IBSw 8,5%, IBSj 66%, G 12,75%, M 12,75%).

Aglomerację przeprowadzono w aglomeratorze STREA 1 / Nitro-Aeromatic AG. Parametry procesu aglomeracji: wsad - masa mieszaniny 300 g; ciecz nawilżająca - 80g woda lub 120g 50% wodny r-r glukozy i syropu maltozowego; temperatura powietrza wlotowego - $50 \pm 2^\circ\text{C}$; strumień przepływu powietrza przez złożę od 50 do 80 m^3/h ; ciśnienie sprężonego powietrza w dyszy rozpylającej - 0,5 bar; nawilżanie z przerwami w czasie około 20 minut; suszenie aglomeratu 15 minut przy temperaturze powietrza wlotowego $50^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. Dla danego rodzaju mieszaniny, odpowiednio A1, A2, B1 i B2, otrzymano po 3 partie aglomeratu. W każdej partii oznaczano dwukrotnie wybrany wyróżnik sypkości.

Analiza właściwości fizycznych proszków obejmowała: skład granulometryczny (analizator wielkości cząstek ciał stałych w powietrzu AWK – V 97 / Kamika Warszawa); gęstość nasypową luźną i utrzęsioną, współczynnik Hausnera (według DIN 66145, objętościomierz wstrząsowy STAV 2003 / Engelsmann AG, Germany); sypkość (sypkość wyrażano w sekundach jako czas potrzebny do wysypu 25 cm^3 proszku przez szczeliny obracającego się naczynia, Pisecky, 1978; Soerensen i wsp., 1978); kąt zsypania z powierzchni szklanej i metalowej (Soerensen i wsp., 1978).

Wyniki badań i ich analiza

W tabeli 1 zestawiono wyniki składu granulometrycznego badanych mieszanin białkowo-węglowodanowych typu A1 i A2 oraz typu B1 i B2 odpowiednio w formie proszku oraz

aglomeratu. Na podstawie składu granulometrycznego przedstawianego w postaci skumulowanego rozkładu udziałów objętościowych, wyznaczano parametry charakterystyczne rozkładu takie jak, średnica d_{10} , d_{50} i d_{90} odpowiadające 10%, 50% i 90% objętości (masy) zbioru cząstek. Jako średnią średnicę przyjmowano d_{50} .

Skład granulometryczny cząstek odgrywa szczególną rolę, gdyż wykazuje on 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 (Schubert 1987). Porównując wyniki składu granulometrycznego dla mieszanin nieaglomerowanych i ich aglomeratów można jednoznacznie stwierdzić, że proces aglomeracji zmienia skład granulometryczny w stronę większych cząstek. Średnia objętościowa średnica mediana d_{50} wynosi: 90-123 μm dla mieszanin nieaglomerowanych, 241-439 μm dla mieszanin aglomerowanych wodą i 219-363 μm dla mieszanin aglomerowanych roztworem glukozy. Aglomeracja badanych mieszanin wodą zwiększyła wymiar charakterystyczny cząstek średnio 3-4 razy, natomiast aglomeracja roztworem glukozy średnio 2,5 raza. Aglomerowane mieszaniny typu A2 i B2, w których amorficzną laktozę zastąpiono krystaliczną glukozą, charakteryzują się nieznacznie większą średnią średnicą w stosunku do aglomerowanych mieszanin typu A1 i B2, niezależnie od rodzaju cieczy nawilżającej. Z kolei roztwór glukozy jako ciecz nawilżająca, nieznacznie wpływa na zmniejszenie średniej średnicy aglomerowanych mieszanin, w porównaniu z aglomeratami nawilżanymi wodą.

Tab. 1. Skład granulometryczny wieloskładnikowych mieszanin proszków spożywczych
Table 1. Size distribution of multicomponent mixture of food powders

SKŁAD GRANULOMETRYCZNY		d_{10} [μm]	d_{50} [μm]	d_{90} [μm]	$(d_{90} - d_{10})$ [μm]	$(d_{90} - d_{10})/d_{50}$ -
PROSZEK	A1	30	90	180	150	1,67
	A2	33	112	209	176	1,57
	B1	35	112	208	173	1,54
	B2	40	123	216	176	1,43
AGLOMERAT WODĄ	A1	110	241	951	841	3,49
	A2	165	318	522	357	1,12
	B1	101	241	830	729	3,02
	B2	235	439	699	464	1,06
AGLOMERAT ROZTWOREM GLUKOZY	A1	102	219	401	299	1,37
	A2	149	296	551	402	1,36
	B1	125	263	425	300	1,14
	B2	225	363	605	380	1,05

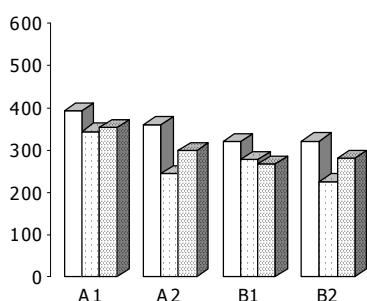
d_{10} - średnica, d_{50} - średnia średnica, d_{90} - średnica, $(d_{90} - d_{10})$ - zakres wielkości, $(d_{90} - d_{10})/d_{50}$ - rozstęp

Inne charakterystyczne parametry składu granulometrycznego, a więc średnice d_{10} i d_{90} aglomerowanych mieszanin zwiększają się od 2 do 5 razy w stosunku do materiału nieaglomerowanego. Wyznaczając średni zakres wielkości cząstek jako różnicę d_{90} i d_{10} , okazuje się, że na skutek aglomeracji zakres wielkości cząstek wzrasta około dwukrotnie dla większości badanych mieszanin. Dla mieszanin A1, B1 nawilżanych wodą wzrasta nawet 4-5

razy. Kolejny wyróżnik, rozstęp wielkości cząstek czyli zakres wielkości cząstek ($d_{90} - d_{10}$) odniesiony do średniej średnicy d_{50} , przyjmuje zdecydowanie wyższe wartości (3,49 i 3,06) dla dwuskładnikowych mieszanin A1 i B1 nawilżanych wodą w porównaniu z wartościami tego współczynnika (1,05 - 1,67) dla pozostałych mieszanin. Wyższa wartość rozstępu wiąże się z niższą jednorodnością wielkości cząstek. Zastąpienie amorficznej laktozy krystaliczną glukozą w mieszaninach aglomerowanych wodą oraz zastosowanie roztworu glukozy, jako cieczy nawilżającej, zwiększa jednorodność cząstek otrzymywanych aglomeratów.

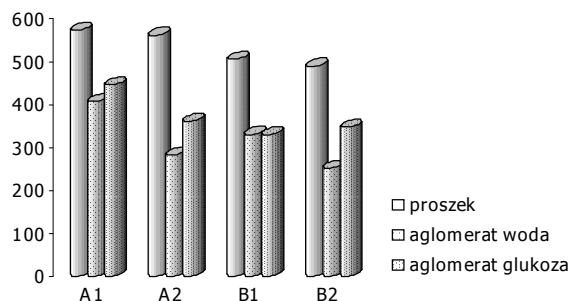
Gęstość nasypowa umożliwia ocenę stopnia wypełnienia materiałami sypkimi zbiorników, silosów, opakowań. Gęstość nasypowa luźna i utrząsiona mieszanin nieaglomerowanych

wynosiła odpowiednio 319÷394 i 490÷574 kg/m^3 . Niezależnie od rodzaju mieszaniny i rodzaju cieczy nawilżającej zarówno gęstość nasypowa luźna jak i utrząsiona aglomeratów jest zdecydowanie niższa i wynosi odpowiednio 226÷354 i 252÷447 kg/m^3 . Bardziej znaczące obniżenie zaobserwowano podczas aglomeracji wodą mieszanin czteroskładnikowych A2 i B2, dla których gęstość nasypowa luźna i utrząsiona obniża się odpowiednio o 30 i 50% (Rys.1 i Rys.2).



Rys. 1. Gęstość nasypowa luźna

Fig. 1. Bulk density

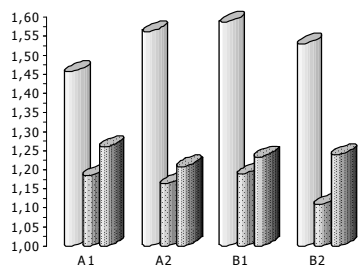


Rys. 2. Gęstość nasypowa utrząsiona

Fig. 2. Shaken density

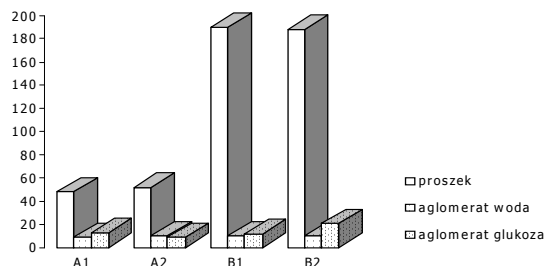
Z gęstością nasypową luźną i utrząsioną związany jest współczynnik Hausnera I_H (stosunek gęstości nasypowej utrząsionej ρ_T do gęstości nasypowej luźnej ρ_L). Współczynnik Hausnera I_H jest wskaźnikiem sypkości proszków. Jeśli współczynnik Hausnera jest większy niż 1,4; to jest prawdopodobne, że proszek ma wszystkie własności spójnego proszku. Materiały charakteryzujące się współczynnikiem Hausnera I_H mniejszym od 1,25 określane są jako proszki o dobrej sypkości. Kiedy wielkość cząstek nie przekracza 100 μm następuje znaczny wzrost współczynnika Hausnera. Im większa wartość tego współczynnika tym spójniejszy proszek z powodu wzrastających sił międzycząsteczkowych (Wong 2000). Wartość I_H różnicuje badane mieszaniny pod względem sypkości (Rys.3). Mieszaniny A1, A2, B1 i B2 nieaglomerowane to proszki o słabej sypkości (I_H 1,46 ÷ 1,59). Mieszaniny A1 i A2 aglomerowane wodą charakteryzują się bardzo dobrą sypkością (I_H 1,11 ÷ 1,19), aglomerowane roztworem glukozy dobrą sypkością (I_H 1,21 ÷ 1,26).

Inny wskaźnik sypkości (Rys.4), wyznaczany jako czas wysypu 25 cm^3 proszku z naczynka obracającego się z prędkością 30 obr/min, charakteryzuje badane mieszaniny w proszku jako słabo sypkie. Mieszaniny nieaglomerowane typu A1 i A2 wysypują w czasie 48-52 sekund, a mieszaniny z większą zawartością białka typu B1 i B2 w czasie prawie czterokrotnie dłuższym 190 sekund. Mieszaniny aglomerowane, niezależnie od składu i rodzaju cieczy nawilżającej według tego wyróżnika wykazują bardzo dobrą sypkość, gdyż wysypują się w czasie krótszym niż 20 sekund.



Rys. 3. Współczynnik Hausnera

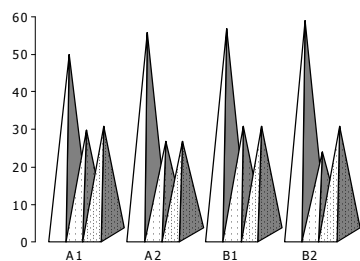
Fig. 3. Hausner's ratio



Rys. 4. Sypkość jako czas wysypu

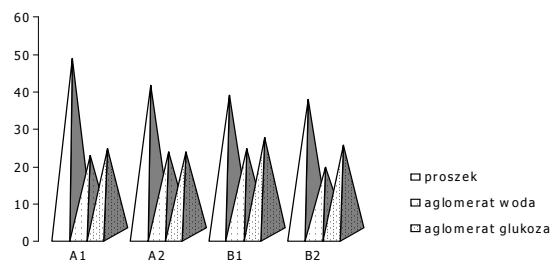
Fig. 4. Flow ability as the pouring time

Kąt zsypania z płytki szklanej i metalowej (Rys.5, Rys.6) różnicuje pod względem sypkości mieszaniny w proszku i mieszaniny aglomerowane. Kąt zsypania wyższy od 35° , rzędu 36° – 58° określa mieszaniny w proszku jako słabo sypkie. Mieszanki aglomerowane wykazują kąt zsypania niższy od 30° rzędu 20° – 29° charakterystyczny dla materiałów o dobrej sypkości.



Rys. 5. Kąt zsypania z płytki szklanej

Fig. 5. Slide angle of glass plate



Rys. 6. Kąt zsypania z płytki metalowej

Fig. 6. Slide angle of metal plate

Wnioski

1. Nieaglomerowane wieloskładnikowe mieszaniny proszków spożywczych o charakterze białkowo-węglowodanowym są proszkami drobnoziarnistymi o słabej sypkości.
2. Aglomeracja nawilżeniowa w złożu fluidalnym badanych mieszanin powoduje około 2-4-krotne powiększenie średniej średnicy cząstek i umożliwia uzyskanie aglomeratu o dobrej sypkości, niezależnie od składu mieszaniny i stosowanej cieczy nawilżającej.
3. Analiza sypkości na podstawie takich wyróżników sypkości jak: współczynnik Hausera, sypkość jako czas wysypu z obracającego się naczynia czy kąt zsypania umożliwia zróżnicowanie pod względem sypkości proszku i granulatu. Zmiana w składzie mieszaniny polegająca na jakościowej czy ilościowej zmianie zawartości białka czy węglowodanu oraz zmiana cieczy nawilżającej w aglomeracji nie ma istotnego odzwierciedlenia w wartościach wyznaczonych wyróżników sypkości.

Bibliografia

DIN 66145 Darstellung von Korn – (Teilchen-) gröÙender teilungen

Domian E. 2002.: Aglomeracja w przemyśle spożywcym. Przemysł Spożywczy, 8 (56), 80-86, 88

Domian E., Grzegorzczak K. 2004.: Wybrane właściwości fizyczne modelowego napoju sojowego w proszku w aspekcie aglomeracji preparatami lecytynowymi. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 43, nr 3s, 31-32

Domian E., Lenart A. 2001.: Zastosowanie analizatora cząstek AWK-V97 do oznaczania składu granulometrycznego cukru. *Materiały z XXXII Sesji Naukowej KTiCHŻ PAN, Warszawa*, 11, 1-6

Pietsch W. 2003.: An interdisciplinary approach to size enlargement by agglomeration. *Powder Technology*, 130, 8-13

Pisecky J. 1997.: *Handbook of Milk Powder Manufacture* Copenhagen Niro A/S

Rambali B., Baert L., Massart D.L. 2001.: Using experimental design to optimize the process parameters in fluidized bed granulation on semi – full scale. *International Journal of Pharmaceutics*, 220, 149-160

Schubert H. 1987.: Food Particle Technology. Part I: Properties of Particles and Particulate Food Systems. *Journal of Food Engineering*, 6 (1), pp. 1-32

Schubert H. 1993.: Instantization of powdered foods. *International Chemical Engineering* 33, (1), 28-45

Seville J.P.K., Willett C.D., Knight P.C. 2000.: Interparticle forces in fluidization. *Powder Technology*, 113, 261-268

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

Wong A.C.-Y. 2000.: Characterisation of the flowability of glass beads by bulk densities ratio. *Chemical Engineering Science*, 55, 3855-3859

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

EFFECT OF AGGLOMERATION IN FLUIDIZED BED ON FLOWABILITY OF SOME POWDERED PROTEIN-CARBOHYDRATE FOOD MIXTURES

Summary

The effect of wet agglomeration in fluidized bed of powdered multicomponent food mixtures on the flow ability of obtained agglomerates was investigated. Food mixtures were processed in the STREA 1/ Nitro-Areromatic AG agglomerator. Analysis of the following properties included such indicators as: the Hausner ratio, flow ability as the pouring time, the slide angle. The mixtures were produced on a basis of following food powders: whey, soya protein isolate, whey protein isolate, glucose and maltose. Simulation of the mixtures' composition corresponded with composition of skimmed milk powder and powdered milk protein concentrate. The flow ability of powdered, fine-grained mixtures was rather poor, whereas after agglomeration the mixtures showed fairly good flow ability, irrespective of their composition.

Key words: powdered food, agglomeration, flow ability