

Monika Janowicz, Ewa Domian, Hanna Kowalska, Andrzej Lenart
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

WPLYW AGLOMERACJI I SKŁADU SUROWCOWEGO NA WŁAŚCIWOŚCI PROJEKCYJNE CZĄSTEK MIESZANIN PROSZKÓW SPOŻYWCZYCH

Streszczenie

Celem pracy było zbadanie wpływu aglomeracji nawilżeniowej wieloskładnikowych mieszanin spożywczych na kształt cząstek otrzymywanych aglomeratów. Zakres badań obejmował analizę wpływu metody aglomeracji nawilżeniowej na wartości współczynników związanych z kształtem cząstek: powierzchni projekcyjnej, obwodu projekcji, średnicy projekcyjnej, objętości oraz współczynnika kształtu. Aglomeracja nawilżeniowa wpływa na średnie wielkości badanych współczynników mieszanin proszków spożywczych. Zakres wpływu uzależniony jest od metody aglomeracji oraz składu surowcowego badanych mieszanin.

Słowa kluczowe: aglomeracja, proszki spożywcze, kształt i wielkość cząstek

Wprowadzenie

Systemy zdyspergowane, emulsje, piany, zawiesiny czy proszki, występują w wielu gałęziach przemysłu, jak chemiczny, kosmetyczny, farmaceutyczny czy spożywczy. Mikrostruktura systemów zdyspergowanych, które w skali makro traktowane być mogą jako homogeniczne i ciągłe, determinuje wiele ich właściwości fizycznych, a w konsekwencji ich jakość i funkcjonalność. Stabilność, reologia, cechy sensoryczne, kinetyka wymiany masy czy właściwości optyczne systemu zdyspergowanego są przykładowymi właściwościami, na które ogromny wpływ ma jego mikrostruktura. Strukturę produktu określa wybór składników jak też metody jego wytwarzania. Wiedza o wpływie parametrów procesowych na charakterystykę strukturalną jest niezbędna. Pożądana mikrostruktura może być osiągnięta przez wybór odpowiednich warunków procesowych oraz skorelowanie ich ze składem mieszanin [Jacquot i in. 2002; Pietsch 2003].

Produkty w proszku stanowią grupę systemów zdyspergowanych o dużym znaczeniu praktycznym. Charakterystyka jakościowa proszków najczęściej obejmuje aspekty związane z ich obrotem – sypkość czy zabezpieczenie przed pyleniem, jak też aspekty związane z odtwarzaniem w cieczy – zwilżalność, dyspergowalność czy rozpuszczalność. Właściwości te są w znacznym stopniu określone przez mikro i makrostrukturę sproszkowanego produktu [Rambali i in. 2001; Schubert i in. 2003]. Dlatego też jednym z głównych zadań technik badawczych jest przedstawienie opisanych obiektów, procesów czy zjawisk w postaci obrazów. Obecnie stosowane programy analityczne pozwalają określić i obliczyć dziesiątki parametrów np.: liczbę analizowanych obiektów, długość, szerokość, pole powierzchni, długość obwodu, środek ciężkości, współczynniki kształtu, gęstość optyczną i wiele innych, na podstawie których można obliczyć wartości pochodne [Makała 1995].

Analiza obrazu może służyć do wyszczególnienia składowych mieszanin lub do stwierdzenia stopnia wymieszania różnego rodzaju mieszanin spożywczych również w postaci proszku. Dzięki technice komputerowej można ocenić skład granulometryczny produktów bez mechanicznego przesiewania ich na sitach powodującego rozdrobnienie materiału [Lewicki 1995]. Systemy wizyjne analizy obrazu umożliwiają różnicowanie odmian materiałów w oparciu o ich cechy geometryczne, skorelowane z odpowiednim współczynnikiem kształtu [Kato i Mastunga 1990; Kubiak 1998].

Celem pracy było zbadanie wpływu aglomeracji nawilżeniowej mieszanin w proszku na strukturę otrzymywanych aglomeratów. Zakres badań obejmował analizę właściwości projekcyjnych mieszanin proszków spożywczych o charakterze białkowo-węglowodanowym z uwzględnieniem wpływu metody aglomeracji nawilżeniowej przez mieszanie w złożu fluidalnym oraz składu mieszaniny.

Metodyka badań

Proces aglomeracji prowadzono dwoma sposobami w mechanicznie i pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym.

Mechanicznie generowano złożo fluidalne w mieszalniku lemieszowo - płużącym typ L5 / Lödige z zastosowaniem następujących parametrów procesu aglomeracji: wsad - mieszanina 400 g; ciecz nawilżająca - woda 70 g; temperatura granulacji $22 \pm 2^\circ\text{C}$; prędkość mieszadła impelerowego 200 obr/min; czas granulacji 3 min, ciśnienie sprężonego powietrza w dyszy rozpylającej 50 kPa; suszenie aglomeratu 30 minut przy temperaturze powietrza wlotowego $50 \pm 2^\circ\text{C}$.

Zastosowanie urządzenia STREA 1 / Niro-Aeromatic AG pozwoliło otrzymać aglomeraty proszków spożywczych w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym. Parametry procesu aglomeracji dla tego typu urządzenia były następujące: wsad - mieszanina 300 g; ciecz nawilżająca - woda 60 g; temperatura powietrza wlotowego $50 \pm 2^\circ\text{C}$; strumień przepływu powietrza przez złoże od 50 do 80 m^3/h ; ciśnienie sprężonego powietrza w dyszy rozpylającej 50 kPa; nawilżanie z przerwami w czasie do 10 minut; suszenie aglomeratu 15 minut w temperaturze powietrza wlotowego $50 \pm 2^\circ\text{C}$. Materiał badawczy stanowiły mieszaniny o charakterze białkowo-węglowo-danowym tworzone na bazie popularnych na rynku proszków spożywczych: serwatka, izolat białka sojowego, izolat białek serwatkowych oraz glukoza. Skład badanych mieszaniny w % masowych przedstawiono w tabeli 1.

Symulacja składu mieszanin A i B pod względem ogólnej zawartości białka i węglowodanów, odpowiada składowi odtłuszczonego mleka w proszku. Symulacja składu mieszanin C i D, odpowiadająca składem koncentratowi białek mleka w proszku, może stanowić modelową odżywkę białkową w proszku.

Tabela 1. Składniki mieszanin proszków spożywczych, udział procentowy

Table 1. Components of mixes of food powders, percentage share

Symbol mieszaniny	Serwatka	Izolat sojowy	Izolat białek serwatkowych	Glukoza
A	66	34	-	-
B	-	34	16,5	49,5
C	34	66	-	-
D	-	66	8,5	25,5

Zmiany kształtu cząstek badanych mieszanin A, B, C i D, w wyniku aglomeracji, określano na podstawie zdjęć wykonanych za pomocą mikroskopu stereoskopowego MST 131. Obróbki otrzymanych zdjęć dokonano przy użyciu programu komputerowego MultiScanBase v. 13.01. firmy Computer Scanning Systems.

Analizie komputerowej obrazu poddawano każdorazowo około 400 cząstek badanych mieszanin A, B, C i D odpowiednio w formie proszku i aglomeratu. Dla każdej pojedynczej cząstki określano następujące właściwości projekcyjne:

- powierzchnię projekcyjną s , [mm^2],
- obwód projekcji p , [mm],
- średnicę projekcyjną d , [mm],
- współczynnik krągłości c , [$(\text{mm}^2)/(\text{mm}^2)$],
- objętość v , [mm^3].

Wielkości s i p wyznaczano bezpośrednio przy pomocy programu MultiScan, natomiast pozostałe wielkości obliczano. Średnicę projekcyjną obliczano na podstawie pola powierzchni s z zależności $d = 2\sqrt{s/\pi}$. Współczynnik krągłości c wyliczano na podstawie wyznaczonych wielkości s i p , z następującej zależności $c = (4\pi s)/p^2$. Objętość cząstek v obliczano jako objętość kuli, dla której za podstawowy wymiar przyjęto średnicę projekcyjną d , $v = [(\pi(d^3)) / 6]$.

Wyniki badań i ich analiza

Aglomeracja badanych mieszanin A, B, C i D, niezależnie od ich składu i metody, powoduje istotne powiększenie średnich wartości s , p , d oraz v (tab. 2).

Tabela 2. Wpływ aglomeracji na średnie wartości s , p , d , c i v badanych mieszanin w proszku

Table 2. influence of agglomeration on mean values s , p , d , c and v of assessed mixes in the powder

Aglomeracja	Materiał	s (mm ²)	p (mm)	d (mm)	c (mm ² /mm ²)	v (mm ³)
-	A	0,0029±0,0039	0,1869±0,1420	0,0491±0,0355	0,72±0,20	0,00018±0,00036
	B	0,0061±0,0125	0,3194±0,3681	0,0705±0,0525	0,67±0,25	0,00068±0,00294
	C	0,0061±0,0114	0,3004±0,2597	0,0683±0,0559	0,54±0,10	0,00067±0,00214
	D	0,0023±0,0029	0,1813±0,1228	0,0476±0,0259	0,75±0,18	0,00012±0,00027
Mieszanie mechaniczne	A	0,1088±0,0488	1,5131±0,3663	0,3641±0,0774	0,58±0,07	0,0289±0,0208
	B	0,0298±0,0576	0,7757±1,0255	0,1322±0,1432	0,46±0,15	0,0079±0,0206
	C	0,0884±0,1738	1,1818±1,0633	0,2551±0,2188	0,50±0,09	0,0380±0,1302
	D	0,0641±0,1684	1,7762±1,9422	0,2072±0,1968	0,58±0,24	0,0285±0,1514
Mieszanie pneumatyczne	A	0,0161±0,0174	0,6199±0,4253	0,1245±0,0710	0,47±0,12	0,0021±0,0033
	B	0,1733±0,1927	2,1432±1,2878	0,4063±0,2364	0,39±0,11	0,0756±0,1293
	C	0,0762±0,1653	1,2152±1,4423	0,2216±0,2200	0,45±0,13	0,0336±0,1155
	D	0,1191±0,2642	1,6954±2,6975	0,2889±0,2614	0,57±0,24	0,0656±0,2461

s - powierzchnia projekcyjna, p - obwód projekcji, d - średnica projekcyjna, c - współczynnik krągłości, v - objętość, s - projection surface, p - projection perimeter, d - projection diameter, c - circularity coefficient, v - volume

Wszystkie badane wielkości oraz współczynniki pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że aglomeracja powoduje powstawanie cząstek większych, o zmienionym kształcie oraz strukturze powierzchni. Brak jednoznacznego potwierdzenia w jaki sposób rodzaj aglomeracji i różnice surowcowe wpływają oraz zmieniają kształt i strukturę powierzchniową cząstek badanych mieszanin. Można jednak na podstawie analizy zdjęć wykonanych dla badanych mieszanin wskazać, że aglomeracja w mechanicznie generowanym złoży sprzyja powstawaniu cząstek o bardziej regularnych kształtach i znacznie mniej rozbudowanej linii obwodu projekcji w porównaniu do aglomeratów otrzymanych na drodze mieszania pneumatycznego

(rys. 1). Szczegółowej analizie poddano zależność obwodu projekcji cząstek w funkcji ich powierzchni w aspekcie zarówno metody aglomeracji jak i składu surowcowego.

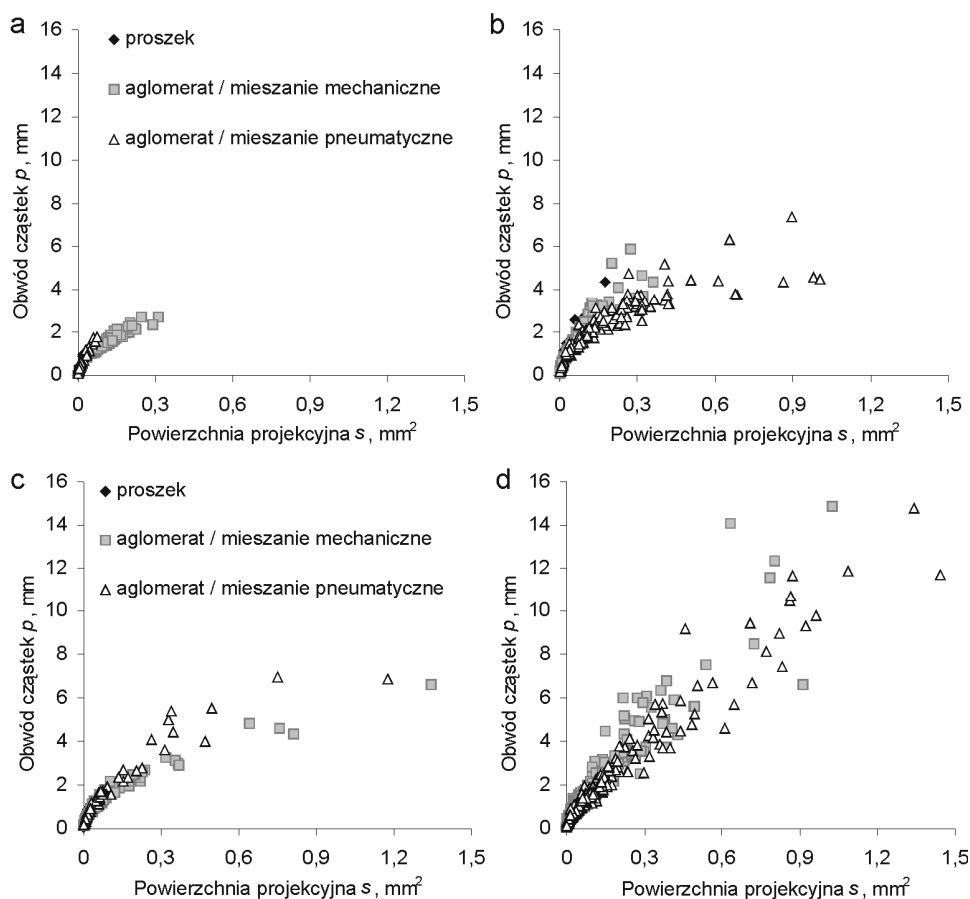


Rys. 1. Wpływ aglomeracji i jej rodzaju na kształt cząstek badanych mieszanin proszków spożywczych. Powiększenie 40 razy

Fig. 1. influence of agglomeration and its type on shape of particles of assessed mixes of food powders. Magnification 40 times

Na rysunku 2 przedstawiono zmianę obwodu projekcji p cząstek w aspekcie metody aglomeracji dla badanych mieszanin A, B, C, i D. Z przedstawionych zależności wynika, że tendencja otrzymana po analizie średnich wartości zarówno powierzchni s jak i obwodu projekcji p cząstek potwierdziła się. Na skutek przeprowadzonej aglomeracji następuje wzrost s i p niezależnie od składu surowcowego mieszanin.

Analizując otrzymane zależności zaobserwowano, że w przypadku dwuskładnikowej mieszaniny z większą ilością serwatki (mieszanina A) powstają cząstki o powierzchni projekcyjnej mniejszej od około $0,30 \text{ mm}^2$ i o obwodzie projekcji nie przekraczającym około $2,70 \text{ mm}$ (rys 2a). W przypadku tak dobranego składu surowcowego stwierdzono, że powstawaniu większych cząstek sprzyja aglomeracja w mechanicznie generowanym złożu fluidalnym, a zakres powierzchni projekcyjnej wynosi od $0,032$ do $0,310 \text{ mm}^2$, natomiast zakres obwodu projekcji cząstek od $0,843$ do $2,715 \text{ mm}$. Aglomeracja w złożu pneumatycznym pozwala otrzymać dla mieszaniny A cząstki o węższym zakresie zarówno powierzchni s jak i obwodu p , odpowiednio wynoszą one $0,0004 - 0,073 \text{ mm}^2$ i $0,098 - 1,793 \text{ mm}$. Można zatem stwierdzić istotny wpływ aglomeracji, ponieważ cząstki mieszanin A będące materiałem wyjściowym do aglomeracji posiadały powierzchnię projekcyjną zawierającą się w zakresie od $0,00004$ do $0,023 \text{ mm}^2$, natomiast obwód projekcji w zakresie od $0,023$ do $0,960 \text{ mm}$.



Rys. 2. Zmiany obwodu projekcji p cząstek w funkcji ich powierzchni projekcyjnej s w aspekcie metody aglomeracji dla mieszanin proszków spożywczych: a – mieszanina A, b – mieszanina B, c – mieszanina C, d – mieszanina D

Fig. 2. changes of the perimeter of projection p of particles in function of their projection area s in the aspect of the method of agglomeration for mixes of food powders: a – mix A, b – mix B, c – mix C, d – mix D

Zastąpienie serwatki występującej w mieszaninie A izolatem białek serwatkowych (mieszanina B), spowodowało wyeliminowanie ze składu surowcowego proszku laktozy, którą zastąpiono glukozą. Różnica ta wywołała zmianę tendencji zarysowaną podczas analizy wykonanej dla mieszaniny A. W przypadku mieszaniny B cząstki większe oraz szerszy zakres ich występowania w odniesieniu zarówno do

powierzchni projekcyjnej s jak i obwodu projekcji p otrzymano stosując aglomerację w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym (rys 2b). Powierzchnia projekcyjna cząstek otrzymanych poprzez mieszanie pneumatyczne zmieniała się w zakresie od 0,001 do 1,004 mm² natomiast obwód od 0,166 do 7,347 mm. Zaobserwowano, w niektórych przypadkach aż 13-krotny wzrost powierzchni projekcyjnej i 4-krotny wzrost wymiarów obwodu projekcji cząstek w przypadku mieszanki B. Dla cząstek otrzymanych w mechanicznie generowanym złożu fluidalnym powierzchnia projekcyjna wzrosła średnio tylko o 0,9 raza, natomiast obwód projekcji o 0,7 raza w porównaniu z mieszaniną A. Można również zauważyć, że obecność izolatu białek serwatkowych i glukozy w mieszaninie B powoduje tworzenie się samoistnych aglomeratów już w mieszaninie wyjściowej (proszek) ponieważ zakresy powierzchni projekcyjnej s i obwodu projekcji p cząstek przesunęły się w stronę wyższych wartości i wynosiły odpowiednio 0,0001 – 0,174 mm² i 0,029 – 4,364 mm.

Obecność w mieszaninie C izolatu sojowego, a co za tym idzie białek sojowych spowodowała zatarcie różnic pomiędzy wielkościami cząstek s i szerokością zakresów ich występowania po procesie aglomeracji zarówno w złożu mechanicznym jak i pneumatycznym (rys. 2c). Zakresy powierzchni projekcyjnej i obwodu projekcji cząstek otrzymanych po aglomeracji wynosiły dla mieszania mechanicznego odpowiednio: 0,001 – 1,344 mm² i 0,141 – 6,609 mm, a dla mieszania pneumatycznego 0,001 – 1,176 mm² i 0,164 – 6,978. Proszek poddawany aglomeracji w przypadku tak dobranego składu surowcowego nie wykazywał tendencji do samoistnego tworzenia aglomeratów. Powierzchnia projekcyjna oraz obwód projekcji cząstek zawierały się w zakresach 0,00004 – 0,0823 mm² i 0,034 – 1,680 mm (rys. 2c).

W kolejnej modyfikacji składu surowcowego powstała mieszanina D, charakteryzująca się obecnością glukozy i zwiększoną zawartością izolatu sojowego. Zaobserwowano w tym przypadku powstanie cząstek o podobnym zakresie powierzchni projekcyjnej, co wcześniej opisywanych mieszanin B i C, ale znacznie większym obwodzie projekcji zarówno po przeprowadzeniu aglomeracji poprzez mieszanie mechaniczne jak i pneumatyczne (rys. 2d). Podobnie jak w przypadku mieszanki C wartości współczynników s i p mają podobny zakres i wynoszą odpowiednio: dla mieszania mechanicznego 0,0001 – 2,243 mm² i 0,038 – 14,889 mm; dla mieszania pneumatycznego 0,0002 – 2,413 mm² oraz 0,079 – 14,800 mm. Można więc stwierdzić, że obecność dużej ilości izolatu sojowego i glukozy w mieszaninie D sprzyja powstawaniu w procesie aglomeracji cząstek o rozbudowanym obwodzie, co może świadczyć w efekcie o dużej porowatości otrzymanego aglomeratu. Również w przypadku proszku podobnie jak dla mieszanin A i C nie zaobserwowano tworzenia samoistnych aglomeratów, a powierzchnia projekcyjna cząstek zawierała się w zakresie od 0,00004 do 0,0195 mm², natomiast obwód projekcji od 0,026 do 0,771 mm (rys. 2d).

Wnioski

1. Aglomeracja badanych mieszanin białkowo-węglowodanowych niezależnie od ich składu surowcowego i metody otrzymywania, powoduje istotne powiększenie średnich wartości powierzchni projekcyjnej, obwodu projekcji, średnicy projekcyjnej oraz objętości. Wszystkie badane wielkości oraz współczynniki pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że aglomeracja powoduje powstawanie cząstek większych, o zmienionym kształcie oraz strukturze powierzchni.
2. Duża ilość izolatu białek serwatkowych i glukozy w mieszaninie stwarza możliwość tworzenia przez proszek samoistnych aglomeratów. Zjawiska takiego nie zaobserwowano w mieszaninie zawierającej w swoim składzie również izolat białek serwatkowych i glukozę, ale w mniejszych ilościach.
3. Najmniejszymi cząstkami biorąc pod uwagę powierzchnię projekcyjną i obwód projekcji charakteryzowała się mieszanina białkowo-węglowodanowa o dużej zawartości serwatki zarówno w postaci proszku jak i aglomeratów.
4. Zdecydowanie największe cząstki po aglomeracji otrzymano poddając temu procesowi, zarówno poprzez mieszanie mechaniczne jak i pneumatyczne, mieszaninę zawierającą w składzie glukozę oraz dużą zawartości izolatu sojowego.

Bibliografia

- Jacquot M., De Donato Ph., Barres O., Pons M.N., Scher J., Miclo A., Poncelet D. 2002. Physicochemical characterization of the lactoperoxidase system powders: comparison of two drying techniques. *Powder Technology* 128, 205-212.
- Kato I., Mastunga R. 1990. Image analysis of shape as a new technique for selection. *Raport of the Tohoko-Branch. The Corp. Science Society of Japan*, 33, 88-186.
- Lewicki P.P. 1995. Zastosowanie komputerowej analizy obrazu w technologii żywności. *Przemysł Spożywczy*, 49 (5), 155-157.
- Makąła H. 1995. Komputerowa analiza obrazu w ocenie surowców i gotowej żywności. *Przemysł Spożywczy*, 49 (5), 158-163.
- Pietsch W. 2003. An interdisciplinary approach to size enlargement by agglomeration. *Powder Technology*, 130, 8-13.
- 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., Ax K., Behrend O. 2003. Product engineering of dispersed systems. *Trends in Food Science & Technology* 14, 9-16.

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

INFLUENCE OF AGGLOMERATION AND RAW MATERIAL COMPOSITION ON PROJECTION PROPERTY OF PARTICULARS OF MIXES OF FOOD POWDERS

Summary

The aim of the study is to analyse the influence of moisturising agglomeration of multicomponent food mixes on the shape of particulars of obtained agglomerates. The scope of study covered an analysis of the impact of moisturising agglomeration method on the values of coefficients related to the shape of particles of projection area, projection diameter, volume and shape coefficient. Moisturising agglomeration influences mean values of analysed coefficients of food powder mixes. The range of the influence depends on the method of agglomeration and the raw material content of analysed mixes.

Key words: agglomeration, food powders, shape and size of particles