

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

## **WPLYW AGLOMERACJI W ZŁOŻU FLUIDALNYM NA KSZTAŁT CZĄSTEK WYBRANYCH 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 średnie wartości współczynników związanych z kształtem cząstek: powierzchni projekcyjnej, obwodu projekcji, średnicy projekcyjnej, objętości, współczynnika wydłużenia 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. Mechanicznie tworzenie aglomeratów sprzyja powstawaniu większych cząstek o regularnym kształcie.

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

### **Wprowadzenie**

Inżynieria żywności zajmuje się projektowaniem produktów o pożądanym właściwościach przy zastosowaniu metod inżynierii procesowej. Przy projektowaniu danego produktu niezbędnym jest odpowiedni dobór procesu oraz optymalizacja szeregu parametrów procesowych, mających zasadniczy wpływ na właściwości gotowego produktu [Rambali i in. 2001; Pietsch 2003]. Produkty w proszku stanowią grupę systemów zdyspergowanych o ogromnym znaczeniu praktycznym. Dla układów takich wyróżnikiem jakościowym, przedstawiającym zależność pomiędzy zmiennymi procesowymi i właściwościami końcowymi produktu, może być ich struktura [Schubert i in. 2003]. Dlatego też jednym z zadań technik badawczych jest przedstawienie opisanych obiektów, procesów czy zjawisk w postaci obrazów. Obecnie stosowane komputerowe programy analizy obrazu pozwalają określić i obliczyć dziesiątki parametrów jednocześnie jak liczbę analizowanych obiektów, długość, szerokość, pole powierzchni, długość obwodu, środek ciężkości, współczynniki kształtu, gęstość optyczną i wiele innych. Analiza obrazu może

*M. Janowicz, E. Domian, H. Kowalska, A. Lenart*

służyć do wyszczególnienia składowych mieszanin lub do stwierdzenia stopnia wymieszania różnego rodzaju składników 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].

### **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 impeleroowego 200 obr/min; czas granulacji 3 min, ciśnienie sprężonego powietrza w dyszy rozpylającej 1,5 bar; suszenie aglomeratu 30 minut przy temperaturze powietrza wlotowego  $50 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Zastosowanie urządzenia STREA 1 / Nitro-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 złożo od 50 do 80 m<sup>3</sup>/h; ciśnienie sprężonego powietrza w dyszy rozpylającej 1,5 bar; nawilżanie z przerwami w czasie do 10 minut; suszenie aglomeratu 15 minut przy temperaturze powietrza wlotowego  $50 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Materiał badawczy stanowiły mieszaniny o charakterze białkowo-węglowodanowym tworzone na bazie popularnych na rynku proszków spożywczych: serwatka (S), izolat białka sojowego (IBSj), izolat białek serwatkowych (IBSw), glukoza (Glu). Badane mieszaniny w % masowych zawierały: A (S 66%, IBSj 34%), B (IBSw 16,5%, IBSj 34%, Glu 49,5%), C (S 34%, IBSj 66%), D (IBSw 8,5%, IBSj 66%, Glu 25,5%). Symulacja składu mieszanin A i B pod względem ogólnej zawartości ilości 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.

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.

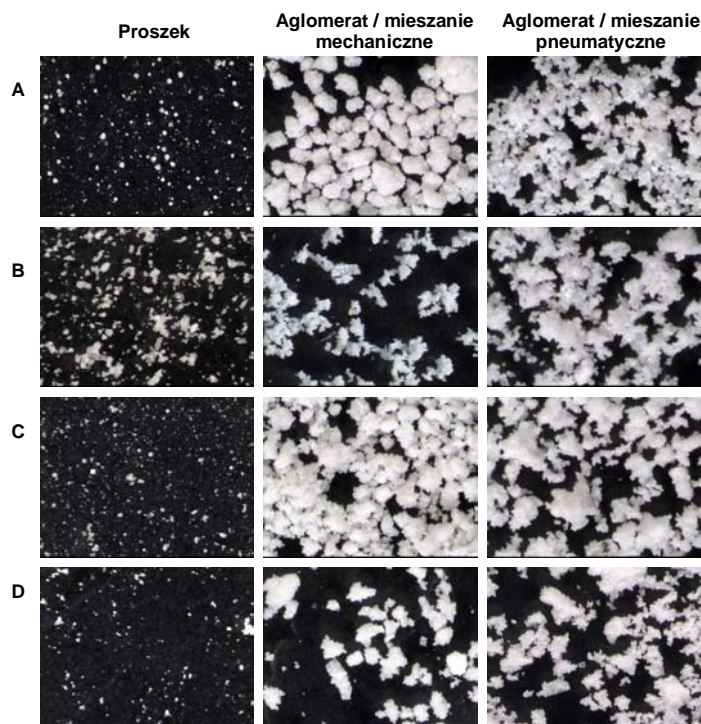
Analizie komputerowej obrazu poddawano każdorazowo około 400 cząstek badanych mieszanin A, B, C i D odpowiednio w formie proszku i aglomeratu. Dla każdej pojedynczej cząstki określano następujące wielkości geometryczne:

- powierzchnię projekcyjną  $s$ , [mm<sup>2</sup>],
- obwód projekcji  $p$ , [mm],
- średnice Fereta  $F_{max}$  i  $F_{min}$ , [mm],
- średnicę projekcyjną  $d$ , [mm],
- współczynnik wydłużenia  $f$ , [(mm)/(mm)],
- współczynnik krągłości  $c$ , [(mm<sup>2</sup>)/(mm<sup>2</sup>)],
- objętość  $v$ , [mm<sup>3</sup>].

Wielkości  $s$ ,  $p$ ,  $F_{max}$  i  $F_{min}$  wyznaczano bezpośrednio przy pomocy programu MultiScan, natomiast pozostałe wielkości obliczano. Średnicę projekcyjną obliczano na podstawie pola powierzchni  $s$  z zależności  $d = 2\sqrt{s/\pi}$ . Jako miarę wydłużenia cząstki  $f$  przyjęto stosunek średnic Fereta maksymalnej do minimalnej  $f = F_{max}/F_{min}$ . Współczynnik krągłości  $c$  obliczano na podstawie wyznaczonych wielkości  $s$  i  $p$ , z następującej zależności  $c = (4 \cdot \pi \cdot s) / p^2$ . Objętość cząstek  $v$  obliczano jako objętość sfery obrotowej, dla której za podstawowe wymiary przyjęto dwie średnice Fereta i średnicę projekcyjną,  $v = [\pi \cdot (F_{max} \cdot F_{min} \cdot d)] / 6$  [Jacquot i in. 2002].

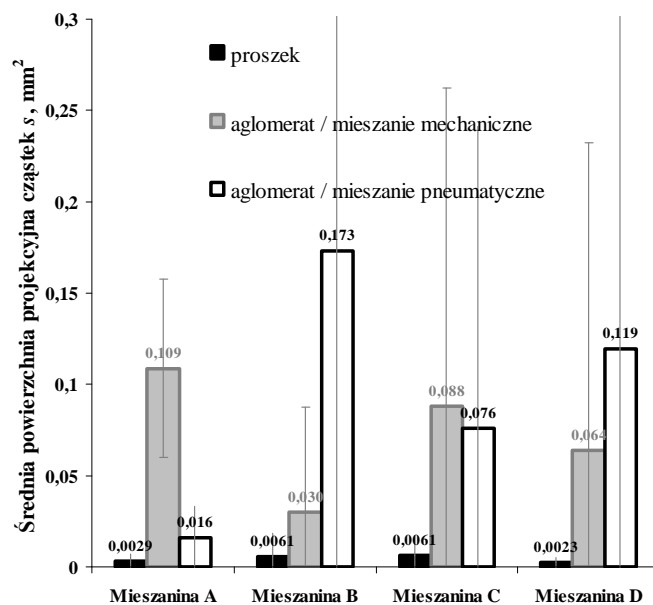
## Wyniki badań i ich analiza

Wizualna ocena zdjęć wykonanych dla badanych mieszanin A, B, C i D pozwoliła stwierdzić wyraźny wpływ procesu aglomeracji na wzrost wymiarów oraz zmianę kształtu cząstek bez względu na ich skład surowcowy. Jednocześnie zaobserwowano, że aglomeraty powstałe w mechanicznie generowanym złożu fluidalnym mają bardziej gładką powierzchnię i charakteryzują się mniejszym zróżnicowaniem rozmiarów cząstek w porównaniu do otrzymanych w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym (rys. 1). Badając wpływ aglomeracji na cechy cząstek wybranych mieszanin proszków spożywczych przeprowadzono analizę zależności pomiędzy średnimi wartościami wskaźników charakteryzujących cząstki tj: powierzchni projekcyjnej  $s$ , obwodu projekcji  $p$ , średnicy projekcyjnej  $d$ , objętości  $v$ , współczynnika wydłużenia  $f$  oraz współczynnika kształtu  $c$ . Wartości średnie wyznaczono na podstawie sporządzonych rozkładów ilościowych dla badanych cząstek.

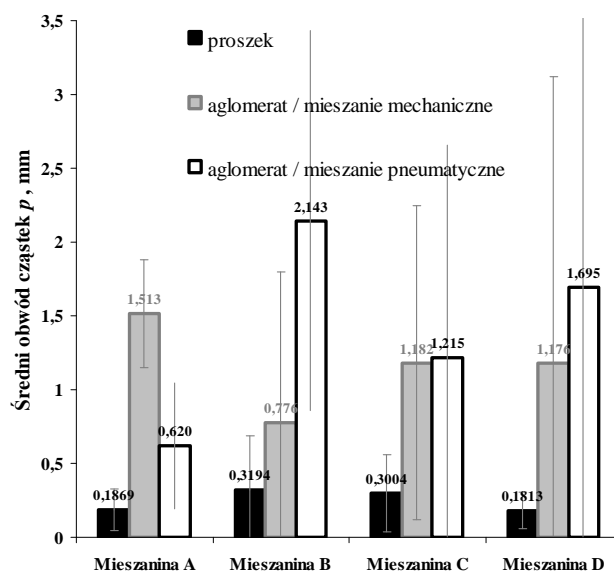


Rys. 1. Zdjęcia badanych mieszanin. Powiększenie 25 razy  
Fig. 1. Pictures of studied mixtures. Increase 25 times

Aglomeracja badanych mieszanin A, B, C i D, niezależnie od ich składu i metody, powoduje istotne powiększenie średnich wartości  $s$ ,  $p$ ,  $d$  oraz  $v$  (rys. 2, 3, 4 i 5). Średnia powierzchnia projekcyjna  $s$  badanych mieszanin w formie proszku przyjmowała wartości w zakresie od 0,0023 do 0,0061 mm<sup>2</sup>, zaś w formie aglomeratów w zakresie 0,0300 – 0,1090 mm<sup>2</sup> dla mieszania mechanicznego i 0,0160 – 0,1730 mm<sup>2</sup> dla mieszania pneumatycznego (rys. 2). Zaobserwowano, że cząstki powstałe na skutek aglomeracji w pneumatycznie generowanym złożu charakteryzują się szerokim zakresem wartości określających powierzchnię. Charakter zmian i zależności pomiędzy nimi zależą od rodzaju mieszaniny a ściślej od jej składu. Zarysowaną dla badanych mieszanin tendencję potwierdzono badając średni obwód projekcji cząstek  $p$  (rys. 3). Mieszaniny w formie proszku charakteryzowały się wartościami  $p$  w zakresie 0,1813 – 0,3194 mm, natomiast aglomeraty otrzymane poprzez mieszanie w mechanicznie generowanym złożu fluidalnym w zakresie 0,7760 – 1,5130 mm, a pneumatycznie 0,6200 – 2,1430 mm.

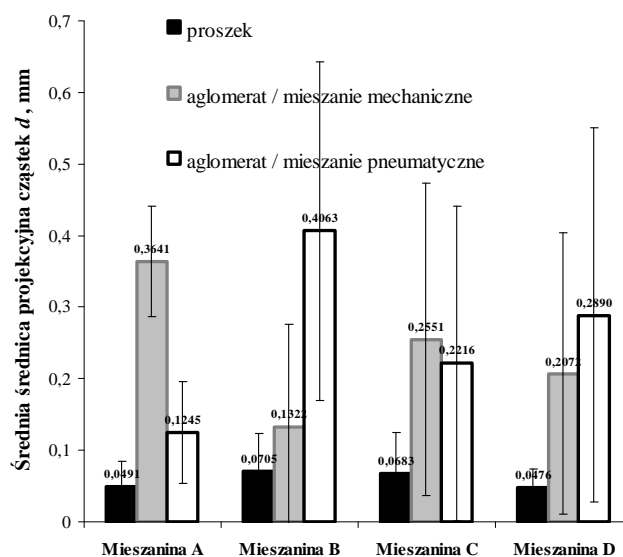


Rys. 2. Średnia powierzchnia projekcyjna cząstek  
 Fig. 2. The average projection surface of particles



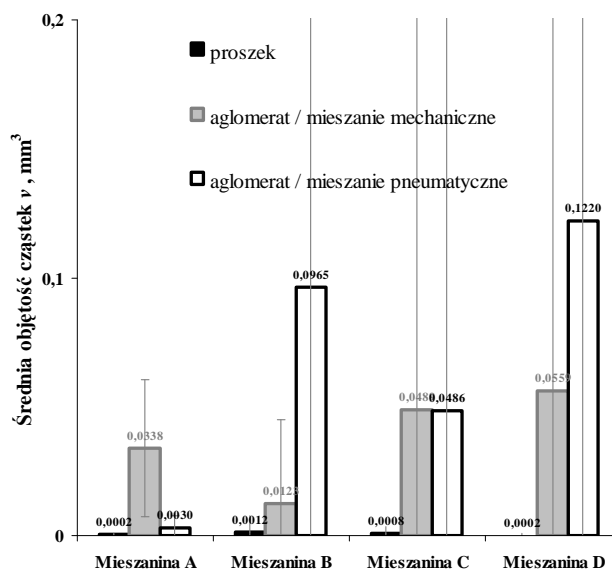
Rys. 3. Średni obwód projekcji cząstek  
 Fig. 3. The average projection perimeter of particles

Jednocześnie można stwierdzić, że aglomeraty otrzymane w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym charakteryzowały się znacznie szerszym zakresem obejmującym zarówno średnią powierzchnię jak i średni obwód projekcji cząstek. Natomiast średnia średnica projekcyjna  $d$  dla aglomeratów otrzymanych przez mieszanie mechaniczne i pneumatyczne zawierała się odpowiednio w zakresie 0,1321–0,3641 i 0,1245–0,4063 mm (rys. 4). Zakresy te w obu przypadkach są zbliżone, więc nie można jednoznacznie stwierdzić wpływu rodzaju aglomeracji na wartość średniej średnicy projekcyjnej cząstek. Wyraźny jest jednak wpływ aglomeracji na ten parametr, gdyż zakres średniej średnicy  $d$  dla mieszanin w formie proszku wynosi 0,0476 – 0,0705 mm (rys. 4). Średnia objętość cząstek  $v$  badanych mieszanin A, B, C i D w formie proszku przyjmowała wartości w zakresie 0,0002–0,0012 mm<sup>3</sup>. Na skutek aglomeracji zakres ten zarówno dla aglomeratów otrzymanych mechanicznie jak i pneumatycznie przesunął się w stronę wartości wyższych i wynosił odpowiednio 0,0123–0,0559 i 0,0030–0,1220 mm<sup>3</sup> (rys. 5).



Rys. 4. Średnia średnica projekcyjna cząstek

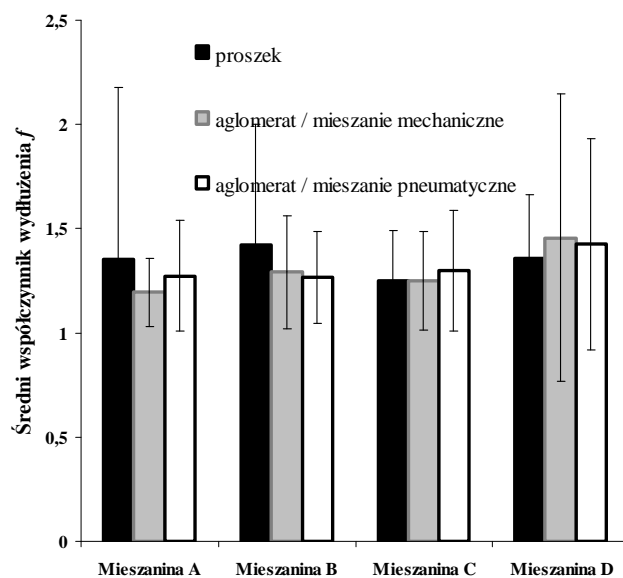
Fig. 4. The average projection diameter of particles



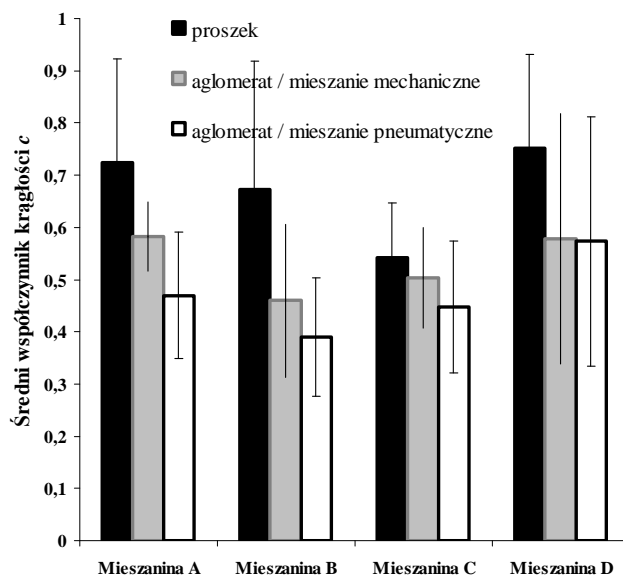
Rys. 5. Średnia objętość cząstek

Fig. 5. The average volume of particles

Miarą wydłużenia cząstek jest współczynnik  $f$  wyrażony jako stosunek średnic Fereta maksymalnej do minimalnej. Nie stwierdzono istotnego wpływu zarówno aglomeracji jak i składu mieszaniny na średni współczynnik wydłużenia cząstek (rys. 6). Dla wszystkich badanych mieszanin wartość tego parametru wahała się w zakresie 1,19–1,45. Natomiast badając średni współczynnik krągłości cząstek  $c$  (rys. 7) stwierdzono, że proces aglomeracji wpływa na zmianę kształtu cząstek przesuwając wartość współczynnika  $c$  w stronę wartości bliskich zera. Zaobserwowana tendencja zmian współczynnika  $c$  dla wszystkich mieszanin jest taka sama. Najbardziej zbliżonymi do koła cząstkami charakteryzują się mieszaniny w postaci proszku, dla których współczynnik krągłości  $c$  zmieniał się w zakresie 0,54–0,75, natomiast aglomeraty otrzymane w mechanicznie i pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym charakteryzowały się niższymi wartościami współczynnika  $c$  i węższym zakresem jego zmian. Średni współczynnik krągłości  $c$  dla aglomeratów mieszanin A, B, C i D przyjmował wartości w zakresie 0,46–0,58 dla mieszania mechanicznego i 0,39–0,57 dla mieszania pneumatycznego.



Rys. 6. Współczynnik wydłużenia cząstek  
Fig. 6. Elongation coefficient of particles



Rys. 7. Współczynnik krągłości cząstek  
Fig. 7. Circularity coefficient of particles



Wszystkie badane wielkości oraz współczynniki pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że aglomeracja powoduje powstawanie cząstek większych, o zmienionym kształcie oraz strukturze powierzchni. Brak jednoznacznego potwierdzenia czy rodzaj aglomeracji zmienia kształt i strukturę powierzchniową cząstek badanych mieszanin a jeśli tak to w jaki sposób. Możemy jedynie przypuszczać, 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.

### **Podsumowanie**

Wielkości i współczynniki charakteryzujące kształt cząstek proszków spożywczych wynikają z wszystkich czynników związanych z ich powstawaniem to jest: składu mieszanin wyjściowych oraz sposobu aglomeracji.

Agglomeracja 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.

### **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.

Kubiak A. 1998. Komputerowa analiza obrazu i metody sztucznej inteligencji w rozpoznawaniu jakości ziarna pszenicy. Materiały z seminarium dla słuchaczy studium doktoranckiego, Olsztyn.

Lewicki P.P. 1995. Zastosowanie komputerowej analizy obrazu w technologii żywności. *Przemysł Spożywczy*, 49 (5), 155-157.

Makała H. 1995. Komputerowa analiza obrazu w ocenie surowców i gotowej żywności. *Przemysł Spożywczy*, 49 (5), 158-163.

*M. Janowicz, E. Domian, H. Kowalska, A. Lenart*

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).*

## **THE INFLUENCE OF AGGLOMERATION IN FLUIDIZED BED ON PARTICLES SHAPE OF CHOSEN FOOD POWDERS**

### **Summary**

The aim of work was examining the influence of agglomeration of multiple food mixtures on shape of agglomerated particles. The range of investigations hugged the analysis of influence of type of mixing during wett agglomeration on average values of coefficients connected with shape of particles: projection surface, projection perimeter, projection diameter, volume of particles, elongation coefficient and circularity coefficient. The wett agglomeration influences on average values of investigated coefficients. The range of influence is dependent on method of agglomeration as well as composition of the raw material. Creating agglomerates mechanically favours formation larger particles with more regular shape.

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