

Dr inż. Karolina SZULC
Mgr inż. Jolanta ZMORZYŃSKA
Katedra Inżynierii i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

AGLOMERACJA UKŁADÓW WIELOSKŁADNIKOWYCH®

Agglomeration of multiple systems®

Słowa kluczowe: proszki spożywcze, aglomeracja, właściwości fizyczne, zwilżalność.

Celem pracy przedstawionej w artykule była ocena wpływu składu surowcowego, aglomeracji i stężenia cieczy zwilżającej na właściwości fizyczne wieloskładnikowych mieszanin w proszku. Analiza właściwości fizycznych obejmowała: zawartość i aktywność wody, skład granulometryczny, gęstość nasypową i pozorną, porowatość złoza, zwilżalność. Przeprowadzone badania wykazały, że skład surowcowy, aglomeracja, jak i stężenie cieczy zwilżającej miały istotny wpływ na właściwości fizyczne analizowanej żywności w proszku. Aglomeracja wpłynęła na poprawę zwilżalności, wzrost rozmiarów cząstek i porowatości, obniżenie gęstości nasypowej układów wieloskładnikowych. Wraz ze wzrostem stężenia cieczy zwilżającej następowało obniżenie gęstości nasypowej aglomeratów, przy tendencji do wzrostu porowatości złoza cząstek.

Key words: food powders, agglomeration, physical properties, wettability.

The aim of this work article to evaluate the effect of raw material composition, agglomeration and concentration of wetting liquid on physical properties of powdered multicomponent mixtures. The following physical properties were measured: water content and water activity, particle size distribution, bulk and apparent density, porosity and wettability. The study showed that ingredients, agglomeration, and concentration of wetting liquid had a significant influence on physical properties of analysed food powders. Agglomeration had improved wettability, increased particle size and porosity, decreased bulk density of multiple systems. With increased in concentration of wetting liquid, the bulk density was decreased, with the tendency to increased porosity of agglomerates.

WSTĘP

Oferta żywności w proszku na rynku jest bardzo zróżnicowana poczynając od zup w proszku, kisielu, ciast i deserów, kawy, kakao, mleka w proszku, czy różnego rodzaju odżywek dla dzieci i sportowców. Koncentraty spożywcze w proszku to żywność specyficzna, która występuje w postaci sproszkowanych mieszanin surowców roślinnych i zwierzęcych z udziałem dodatków smakowo-zapachowych.

Agglomeracja to proces polegający na łączeniu drobnych cząstek w większe struktury, które charakteryzują się zbliżonym rozmiarem, kształtem, lecz zachowują podstawowe cechy fizykochemiczne materiału [7, 12]. Proces ten przyczynia się do poprawy użytkowych cech żywności w proszku [15]. Istnieje wiele metod aglomeracji proszków, które mają zastosowanie w przemyśle spożywczym, jak i farmaceutycznym [1, 10]. Metody te różnicują uzyskany aglomerat pod względem struktury, na co wpływ mają różnice w mechanizmach tworzenia/wzrostu aglomeratów i intensywności zeskalania cząstek [7, 11].

Proces aglomeracji na drodze mieszania mechanicznego może być realizowany w mieszalnikach do granulacji materiałów sypkich (w tym pylistych) oraz przy wykorzystywaniu cieczy zwilżającej o znacznej gęstości. Zaletami jest hermetyczność procesu, usuwanie zbryleń i możliwość stosowania przy zróżnicowanych rozmiarach, gęstości

i kształcie cząstek. Mieszalnik posiada mieszadło szybkoobrotowe powodujące ścinanie i zderzanie cząstek wewnątrz komory oraz dodatkowe mieszadło śmigłowe w celu intensyfikacji ścinania. Zaletą takiej aglomeracji jest powstawanie granulek o kulistym kształcie [3, 9, 13]. Agglomeracja zastosowana podczas mieszania mechanicznego daje możliwość granulacji różnych składników mieszanin, w których każdy ze składników może cechować się różnorodnymi właściwościami [6]. Czynnikiem nawilżającym podczas aglomeracji mogą być różne cieczy, których wybór rodzaju i stężenia wymaga doświadczenia, jak również wiedzy. W technologii materiałów sypkich do aglomeracji nawilżeniowej najczęściej stosowane są wodne roztwory węglowodanów [8].

Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań dotyczących oceny wpływu składu surowcowego, aglomeracji i stężenia cieczy zwilżającej na wybrane właściwości fizyczne układów wieloskładnikowych w proszku.

MATERIAŁY I METODY

Materiał badawczy stanowiły następujące proszki spożywcze: izolat białka sojowego, laktoza, odtłuszczone mleko w proszku, skrobia ryżowa (Hortimex Sp. z o.o.) oraz olej kokosowy w proszku (60% tłuszczu, Nutrimix Polska Sp. z o.o.).

Składniki wchodzące w skład układów w odpowiednich ilościach umieszczono w mieszalniku do granulacji materiałów sypkich o łącznym wsadzie 400 g. Czas mieszania wyniósł 5 min, a mieszadło obracało się z prędkością 253 obr/min. Skład mieszanin pod względem ogólnej zawartości składników odpowiadał składowi mleka modyfikowanego dla dzieci (tab. 1).

Tabela 1. Skład surowcowy wieloskładnikowych mieszanin w proszku (g/100 g mieszaniny)

Table 1. Raw material composition of multicomponent powdered mixture (g/100 g mixture)

Mieszanina	Izolat białka sojowego [g]	Olej kokosowy w proszku [g]	Laktoza [g]	Odtuszczone mleko w proszku [g]	Skrobia ryżowa [g]
I	15	30	55	0	0
II	15	30	42	0	13
III	0	30	42	15	13

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Aglomerację metodą mieszania mechanicznego przeprowadzano w mieszalniku do granulacji materiałów sypkich Lödige Plughshare Mixer. Mieszaninę o masie 400 g przenoszono do komory aglomeratora, mieszano przez 60 s, a następnie aglomerowano przez 2 min przy zadanych parametrach procesowych: prędkość obrotów mieszania – 253 obr/min, strumień przepływu cieczy zwilżającej – 15 ml/min, ciecz zwilżająca – 30 ml: 0 (woda), 10, 20 i 30% wodny roztwór maltodekstryny (DE=15).

Wilgotny aglomerat suszono w suszarce komorowej z wymuszonym obiegiem powietrza w temperaturze 50°C w czasie 20 min.

Zawartość wody w analizowanym materiale oznaczono metodą suszarkową w temperaturze 105 ± 1°C przez 4 h.

Aktywność wody oznaczono w aparacie Hygroskop DT1 (Rotronic), w temperaturze 24 ± 1°C. Naczynka pomiarowe uzupełniono proszkiem w ¾ objętości i umieszczano w komorze aparatu.

Oznaczenie składu granulometrycznego przeprowadzono metodą przesiewania analizowanego materiału przez sita o określonej wielkości. Materiał badawczy odważono w ilości 100 g i poddawano przez czas 10 min oscylacji o stałej częstotliwości 50 Hz. Skład granulometryczny oznaczano na sitach o wielkości oczek: 0 (odbieralnik), 90, 125, 150, 180, 212, 250, 355 oraz 500 µm.

Gęstość nasypową luźną określono na podstawie pomiaru wykonanego w objętościomierzu wstrząsowym STAV 2003 (J. Engelsmann AG). Materiał badawczy nasypywano do cylindra o pojemności 250 cm³. Aby wyznaczyć gęstość nasypową luźną cylinder wypełniono proszkiem do objętości 250 cm³ i ważono.

Gęstość pozorną wyznaczono przy użyciu piknometru helowego Stereopycnometr (Quantachrome Instruments).

Porowatość złoza luźno usypanego określono w oparciu o wartość gęstości nasypowej luźnej ρ_L i gęstości pozornej ρ : $\varepsilon_L = (1 - \rho_L/\rho)$.

Zwilżalność proszku wyrażano, jako czas w sekundach potrzebny do zwilżenia wszystkich cząstek proszku (10 g) w wodzie o temperaturze 40°C.

Analizę statystyczną przeprowadzono wykorzystując jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA przy wykorzystaniu oprogramowania Statgraphics Plus 5.1. W celu wyznaczenia grup jednorodnych zastosowano test LSD. Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Tabela 2. Zawartość wody i aktywność wody wieloskładnikowych mieszanin w proszku

Table 2. Water content and water activity of multicomponent powdered mixtures

Mieszanina	Aglomeracja	Stężenie cieczy zwilżającej	Zawartość wody [%]	Aktywność wody [-]
I	-	-	2,95±0,2 ^{ab}	0,199±0,001 ^{bc}
II			3,85±0,2 ^{abcd}	0,265±0,001 ^{cd}
III			4,70±0,4 ^d	0,277±0,003 ^{cd}
IO	+	woda (0% wodny roztwór maltodekstryny)	3,95±0,4 ^{abcd}	0,164±0,001 ^{ab}
II0			4,50±0,1 ^{cd}	0,352±0,002 ^d
III0			3,80±0,0 ^{abcd}	0,266±0,004 ^{cd}
I10		10% wodny roztwór maltodekstryny	2,80±0,3 ^a	0,120±0,001 ^{ab}
II10			4,05±0,1 ^{bcd}	0,245±0,001 ^{cd}
III10			4,25±0,8 ^{cd}	0,268±0,001 ^{cd}
I20		20% wodny roztwór maltodekstryny	3,00±0,0 ^{ab}	0,204±0,001 ^{bc}
II20			3,60±0,1 ^{abcd}	0,136±0,001 ^{ab}
III20			3,55±0,2 ^{abcd}	0,145±0,001 ^{ab}
I30		30% wodny roztwór maltodekstryny	3,80±0,3 ^{abcd}	0,079±0,002 ^a
II30			3,30±0,0 ^{bcd}	0,082±0,001 ^a
III30			3,55±0,4 ^{abcd}	0,154±0,001 ^{ab}

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

W tabeli 1 przedstawiono zawartość i aktywność wody układów wieloskładnikowych w proszku. Zawartość wody analizowanej żywności w proszku zawierała się w przedziale 2,80 – 4,70%. Skład surowcowy badanych mieszanin miał istotny wpływ na zawartość wody. Zastąpienie części laktozy w składzie mieszaniny skrobią ryżową powodowało wzrost zawartości wody (mieszanina II i III). Aglomeracja poprzez mieszanie przy zastosowaniu wodnych roztworów maltodekstryny nie wpływała statystycznie istotnie na zawartość wody badanej żywności sypkiej.

Analizowane sproszkowane mieszanki charakteryzowały się zróżnicowaną aktywnością wody w zakresie 0,082 – 0,352 (tab. 2). Najwyższą aktywność wody wykazywały mieszanki aglomerowane wodą. Wraz ze wzrostem stężenia wodnych roztworów maltodekstryny (ciecz zwilżająca) od 0 do 30% następowało obniżenie aktywności wody otrzymanych aglomeratów.

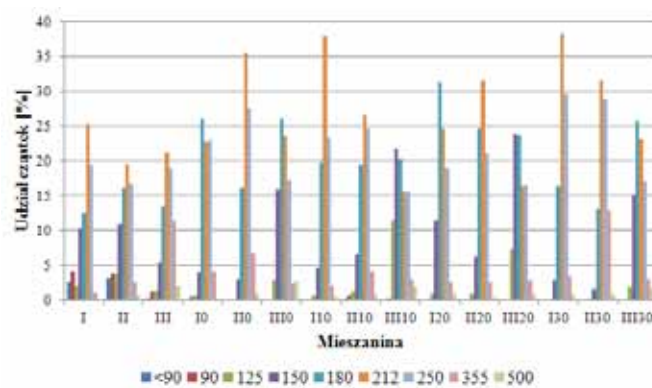
Skład surowcowy analizowanych układów wieloskładnikowych w proszku miał istotny wpływ na jego skład granulometryczny (rys. 1). Zmieszanie w różnych proporcjach poszczególnych składników wchodzących w skład mieszanki, które istotnie różniły się wielkością cząstek, wpłynęło na różnice w składzie granulometrycznym tych układów. Aglomeracja, niezależnie od stężenia wodnych roztworów maltodekstryny, znacząco wpłynęła na wzrost wielkości cząstek analizowanej żywności w proszku, a tym samym nastąpiło wyraźne przesunięcie składu granulometrycznego w kierunku większych cząstek (rys. 1). Wzrost rozmiarów cząstek proszków w czasie aglomeracji potwierdzają również inni autorzy [1, 2]. Stężenie wodnego roztworu maltodekstryny zastosowanego podczas aglomeracji miało istotny wpływ na wielkość cząstek utworzonych aglomeratów. Zastosowanie wody (0% roztwór maltodekstryny) jako cieczy zwilżającej w procesie aglomeracji cząstek wpłynęło na największy wzrost rozmiaru otrzymanych aglomeratów, dalsze zwiększenie stężenia roztworu maltodekstryny (od 10 do 30%) również przyczyniło się do zmniejszenia rozmiaru cząstek w stosunku do wody, ale otrzymane aglomeraty cechowały się średnicą większą w odniesieniu do mieszanki nieaglomerowanej. Zależność tą potwierdzają również badania nad żywnością wieloskładnikową w proszku prowadzone przez Domian i Burdzanowską [4], Forny i wsp. [5].

Gęstość nasypowa luźna analizowanych układów wieloskładnikowych zależała od składu surowcowego mieszanki (rys. 2). Ponadto gęstość nasypowa nieaglomerowanych mieszanki była zdecydowanie wyższa niż otrzymanych aglomeratów, niezależnie od stężenia wodnych roztworów maltodekstryny. Wraz ze wzrostem stężenia cieczy zwilżającej następowało obniżenie gęstości nasypowej luźnej aglomeratu. Z kolei gęstość pozorną, niezależnie od składu surowcowego i aglomeracji dla analizowanych mieszanki była zbliżona (rys. 3).

Szulc i Lenart [14] dokonując analizy właściwości fizycznych odżywek dla dzieci stwierdzili, że aglomeracja przyczyniła się do obniżenia gęstości nasypowej mieszanki zwilżanych wodnymi roztworami cukru, lecytyny, czy wody. Wykazali, iż gęstość nasypowa łączy się z porowatością złoża i występuje między nimi odwrotna zależność [7, 14].

Porowatość złoża uzależniona była od składu surowcowego, aglomeracji, jak i stężenia cieczy zwilżającej (rys. 4). Aglomeracja wpłynęła na wzrost porowatości złoża, podobnie jak i stężenie cieczy zwilżającej. Zaobserwowano tendencję wzrostu porowatości złoża wraz ze wzrostem stężenia roztworu.

Właściwości związane z odtwarzaniem proszku w cieczy silnie powiązane są z ich właściwościami fizycznymi i strukturalnymi. Dobrej zwilżalności proszku w cieczy sprzyja większy rozmiar cząstek, a także otwarta, porowata struktura [5]. Skład surowcowy wieloskładnikowych mieszanki w proszku miał istotny wpływ na ich zwilżalność (rys. 5).

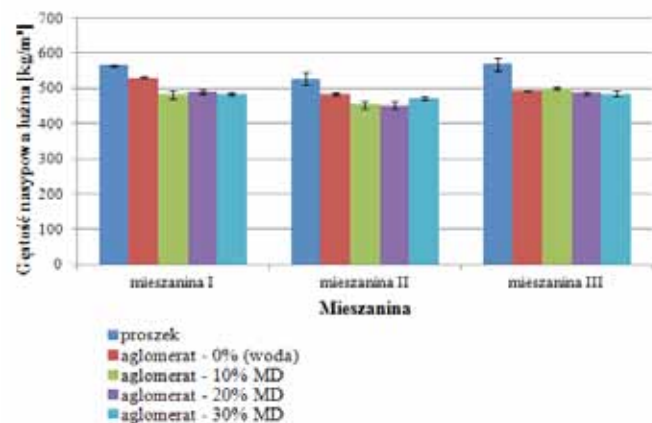


Rys. 1. Skład granulometryczny wieloskładnikowych mieszanki w formie proszku i aglomeratu.

Fig. 1. Particle size distribution of multicomponent mixtures in powdered and agglomerated form.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

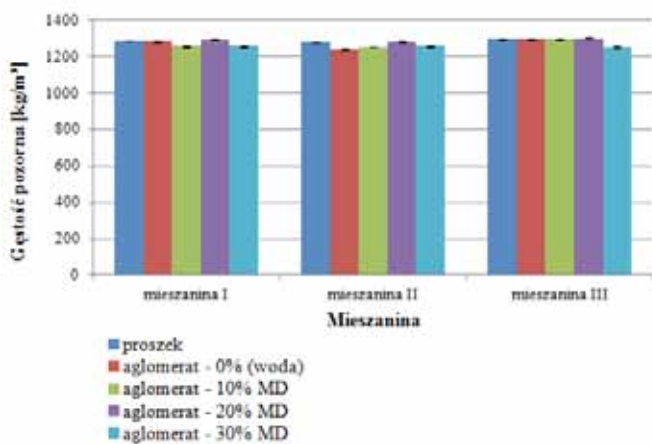


Rys. 2. Gęstość nasypowa luźna wieloskładnikowych mieszanki w formie proszku i aglomeratu.

Fig. 2. Loose bulk density of multicomponent mixtures in powdered and agglomerated form.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study



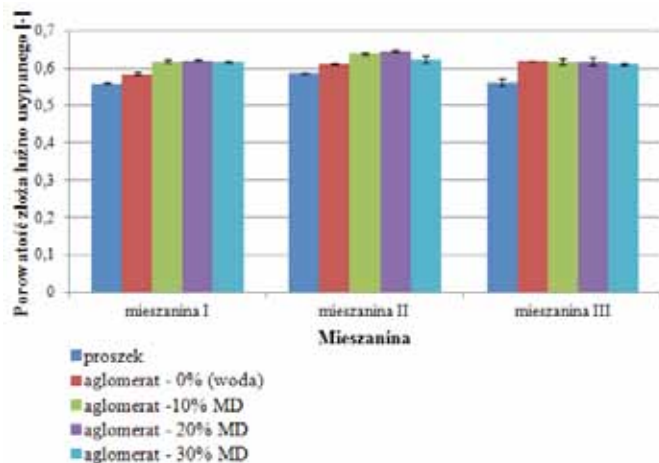
Rys. 3. Gęstość pozorną wieloskładnikowych mieszanki w formie proszku i aglomeratu.

Fig. 3. Apparent density of multicomponent mixtures in powdered and agglomerated form.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

WNIOSKI

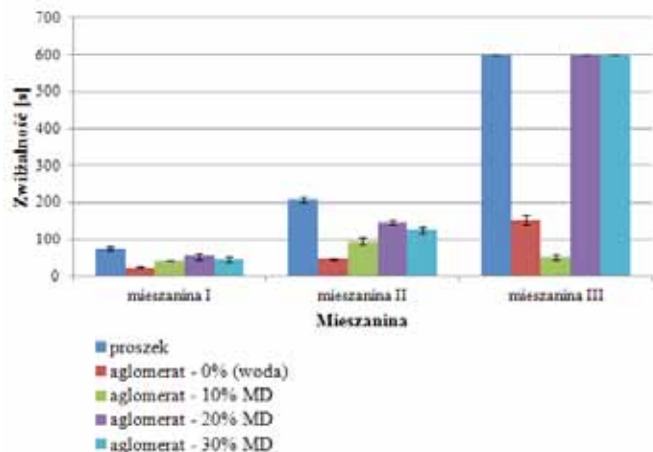


Rys. 4. Porowatość złoża wieloskładnikowych mieszanin w formie proszku i aglomeratu.

Fig. 4. Porosity of multicomponent mixtures in powdered and agglomerated form.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study



Rys. 5. Zwilżalność wieloskładnikowych mieszanin w formie proszku i aglomeratu.

Fig. 5. Wettability of multicomponent mixtures in powdered and agglomerated form.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Obecność skrobi ryżowej w układzie przyczyniła się od obniżenia zwilżalności proszku. Z kolei aglomeracja wpłynęła na znaczną poprawę zwilżalności proszku w wodzie. Wraz ze wzrostem stężenia cieczy zwilżającej maltodektryny następowało stopniowe wydłużenie czasu zwilżania. W przypadku mieszaniny III aglomerowanej 20% i 30% roztworem maltodektryny nie nastąpiła poprawa zwilżalności. Początkowo aglomeraty błyskawicznie zwilżały się w cieczy, ale po pewnym czasie proces uległ spowolnieniu i przypominał zwilżalność proszku przed aglomeracją [7]. Najprawdopodobniej w czasie aglomeracji, mogło zachodzić połączenie części cząstek w większe skupiska, podczas gdy część proszku nie uległa aglomeracji (np. z powodu niewystarczającej ilości cieczy zwilżającej). Potwierdza to rozmiar aglomeratów otrzymanych przy zastosowaniu 30% wodnego roztworu maltodektryny, które cechowały się najmniejszą średnicą w stosunku do pozostałych aglomeratów (rys.1).

1. Skład surowcowy badanych układów wieloskładnikowych w proszku wywierał istotny wpływ na analizowane właściwości fizyczne. Mieszanki proszków spożywczych, w których laktozę częściowo zastąpiono skrobią ryżową charakteryzowały się wyższą zawartością i aktywnością wody oraz znacznie obniżoną zwilżalnością.
2. Aglomeracja sproszkowanej żywności wpłynęła na wzrost rozmiarów cząstek, obniżenie gęstości nasypowej oraz wzrost porowatości w stosunku do układów przed aglomeracją. Wraz ze wzrostem stężenia cieczy zwilżającej następowało obniżenie gęstości nasypowej przy tendencji do wzrostu porowatości złoża cząstek.
3. Aglomeracja wieloskładnikowych mieszanin w proszku wpłynęła na poprawę zwilżalności materiału, niezależnie od stężenia cieczy zwilżającej. Wraz ze wzrostem stężenia maltodektryny zwilżalność aglomeratów ulegała obniżeniu.

LITERATURA

- [1] BARKOUTI A., C. TURCHIULI, J.A. CARCEL AND E. DUMOULIN. 2013. "Milk powder agglomerate growth and properties in fluidized bed agglomeration". Dairy Sci. Technol. 93: 523-535.
- [2] CHÁVEZ MONTES E., N. DOGAN, R. NELISSEN, A. MARABI, L. DUCASSE, G. RICARD. 2011. "Effects of drying and agglomeration on the dissolution of multi-component food powders". Chem. Eng. Technol. 34: 1159-116.
- [3] CUQ B., C. GAIANI, C. TURCHIULI, L. GALET, J. SCHER, R. JEANTET, S. MANDATO, J. PETIT, I. MURRIETA-PAZOS, A. BARKOUTI, P. SCHUCK, E. RONDET, M. DELALONDE, E. DUMOULIN, G. DELAPLACE, T. RUIZ. 2013. "Advances in food powder agglomeration engineering". Adv. food Nutr. Res. 69: 41-103.
- [4] DOMIAN E., D. BURDZANOWSKA. 2006. „Wpływ aglomeracji w mechanicznie generowanym złożu fluidalnym na gęstość i porowatość modelowej żywności w proszku". Inżynieria Rolnicza 2 (77): 255-261.
- [5] FORNY L., A. MARABI, S. PALZER. 2011. "Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders". Powder Technol. 206(1):72-78.
- [6] JI J., J. FITZPATRICK, K. CRONIN, M.A. FENELON, S. MIAO. 2017. "The effects of fluidised bed and high shear mixer granulation processes on water adsorption and flow properties of milk protein isolate powder". J. Food Eng. 192: 19-27.
- [7] JI J., K. CRONIN, J. FITZPATRICK, P. MAGUIRE, H. ZANG, S. MAGUIRE, H. MIAO. 2016. "The structural modification and rehydration behaviours of milk protein isolate powders: The effect of granule growth in the high shear granulation process". J. Food Eng. 189: 1-8.

- [8] **JINAPONG N., M. SUPHANTHARIKA, P. JAMNONG. 2008.** "Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration". *J. Food Eng.* 84: 194-205.
- [9] **OULAHNA D., F. CORDIER, L. J.A. DODDS. 2003.** "Wet granulation: the effect of shear on granule properties". *Powder Technol.* 130: 238-246.
- [10] **PALZER S. 2011.** "Agglomeration of pharmaceutical, detergent, chemical and food powders similarities and differences of materials and processes". *Powder Technol.* 206(1): 2-17.
- [11] **POSZYTEK K., A. LENART. 2006.** „Granulacja żywności w formie proszku”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1: 43-46.
- [12] **RAJNIAK P., C. MANCINELLI, R. CHERN, F. STEPANEK, L. FARBER, B. HILL. 2007.** "Experimental study of wet granulation in fluidized bed: impact of the binder properties on the granule morphology". *Int. J. of Pharm.* 334(1): 92-102.
- [13] **SZULC K., A. LENART. 2007.** „Aglomeracja sproszkowanych odżywek dla dzieci”. *Właściwości geometryczne, mechaniczne i strukturalne surowców i produktów spożywczych* (red. B. Dobrzański, L. Mieszalski), Warszawa: FRNA: 107-128.
- [14] **SZULC K., A. LENART. 2007.** „Wpływ aglomeracji na właściwości użytkowe sproszkowanych modelowych odżywek dla dzieci”. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 5(54): 312-320.
- [15] **SZULC K., A. LENART. 2010.** „Effect of agglomeration on flowability of baby food powders”. *J. Food Sci.* 75(5): 276-284.