

EWA DOMIAN

## **WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE MODELOWEJ ŻYWNOSCI W PROSZKU W ASPEKCIE METODY AGLOMERACJI**

### **Streszczenie**

Celem pracy było określenie wpływu aglomeracji nawilżeniowej, poprzez mieszanie w złożu fluidalnym, na wybrane właściwości fizyczne otrzymanych aglomeratów na przykładzie modelowej żywności w proszku. Aglomerację przeprowadzono dwoma metodami: w pneumatycznie i mechanicznie generowanym złożu fluidalnym. Analiza właściwości fizycznych obejmowała: wielkość cząstek, skład granulometryczny, gęstość nasypową luźną i utrzęsioną, porowatość, sypkość i zwilżalność. Modelową żywność w proszku stanowiły mieszaniny tworzone z takich proszków spożywczych, jak: serwatka, izolat białka sojowego, izolat białek serwatkowych, glukoza, proszek mleczny, tłuszcz roślinny. Nieaglomerowane mieszaniny były proszkami drobnoziarnistymi, trudno rozpuszczalnymi w wodzie, o wysokiej gęstości nasypowej luźnej i utrzęsionej oraz słabej sypkości. Aglomeracja nawilżeniowa poprzez mieszanie modelowej żywności w proszku, przeprowadzona zarówno w pneumatycznie, jak i mechanicznie generowanym złożu fluidalnym, umożliwiała otrzymanie produktu o zmniejszonej zawartości pyłu, dobrej sypkości i szybkiej rozpuszczalności w cieczach. Wyższa gęstość nasypowa i gęstość rzeczywista oraz niższa porowatość złoża proszków aglomerowanych przez mieszanie mechaniczne wskazuje na istnienie bardziej upakowanej struktury tych aglomeratów. Nawilżanie roztworami węglowodanów podczas aglomeracji, zwłaszcza w przypadku mieszania pneumatycznego i nawilżania roztworem maltodekstryny, może doprowadzić do otrzymania aglomeratu o wyższej gęstości nasypowej i niższej porowatości w porównaniu z aglomeratem wytworzonym z użyciem wody. Nadanie cechy instant zwilżalności modelowej żywności w proszku, poprzez aglomerację, uzależnione jest od jej składu surowcowego.

**Słowa kluczowe:** aglomeracja, żywność w proszku, złoże fluidalne

### **Wprowadzenie**

Produkty w proszku mają strukturę systemów zdyspergowanych o dużym znaczeniu praktycznym [12]. Charakterystyka jakościowa proszków obejmuje najczęściej aspekty związane z ich obrotem, jak też aspekty związane z odtwarzaniem w cieczy. Celem powiększania rozmiarów cząstek poprzez aglomerację jest polepszenie wybranych właściwości fizycznych systemu zdyspergowanego [4, 7]. Takie właściwości cząstek ciał stałych, 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. Zależnie od metody aglomeracji powyższe kryteria są spełniane w różnym stopniu. Sposób formowania aglomeratów w danym procesie determinuje ich właściwości [5, 9, 10].

Łączenie cząstek proszku w większe skupiska może następować wskutek działania sił molekularnych i elektrostatycznych, sił powierzchniowych kohezji i adhezji oraz wskutek wytwarzania mostków ciekłych lub stałych. W stanie suchym łączenie się cząstek wiąże się z ich deformacją plastyczną, łamaniem struktury, spiekaniem lub nadtapianiem w warunkach podwyższonego ciśnienia lub temperatury. W stanie mokrym do łączenia i wzrostu rozmiarów cząstek konieczny jest dodatek substancji ciekłej – odpowiedniego lepiszcza lub cieczy [4].

Dobór metody i parametrów prowadzenia procesu ma istotne znaczenie. Nawilżeniowa aglomeracja prowadzona w warunkach mieszania mechanicznego lub pneumatycznego stwarza możliwość granulacji mieszanin różnorodnych składników, z których każdy może charakteryzować się innymi właściwościami [5, 9]. Polepszenie wszystkich właściwości jakościowych jednocześnie nie jest możliwe. Zwiększenie stabilności mechanicznej (struktury) aglomeratu zazwyczaj wiąże się z pogorszeniem właściwości instant [11]. 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, w którym na cząstki działają duże siły zewnętrzne, umożliwia uzyskanie stabilnych, łatwych w obrocie i dozowaniu produktów w postaci gęstych i gładkich granul. Jednak właściwości instant są niezadowalające 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].

Celem pracy było określenie wpływu aglomeracji nawilżeniowej, poprzez mieszanie w pneumatycznie i mechanicznie generowanym złożu fluidalnym, na wybrane właściwości fizyczne otrzymanywanych aglomeratów, na przykładzie modelowej żywności w proszku.

### **Materiały i metody badań**

Materiał badawczy, modelową żywność w proszku, stanowiły mieszaniny tworzone z takich proszków spożywczych, jak: serwatka (S) zdemineralizowana D25 (Lacma), izolat białka sojowego (IBSj) SUPRO 670 (The Solae Company), izolat białek serwatkowych (IBSw) (Lacma), glukoza (Glu) (Hortimex), tłuszcz roślinny w proszku (TP) (BHA Belgium), odtłuszczone mleko w proszku (PM) (OSM Radomsko). 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 0,08 Glu 0,26 IBSj 0,66), F (S 0,49

IBSj 0,25 TP 0,26), PM (PM 1). Różniły się one pod względem ilościowej i/lub jakościowej zawartości białka oraz węglowodanów. Ogólna zawartość białka i węglowodanów wynosiła odpowiednio 37 i 50% w mieszaninach A, B i PM oraz 66 i 22% w mieszaninach C i D. Mieszanina F oprócz 26% białka i 39% węglowodanów, zawierała 26% rafinowanego tłuszczu palmowego.

Aglomerację prowadzono 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 aparacie STREA 1 były następujące: wsad – masa mieszaniny 300 g; ciecz nawilżająca – 60 g woda oraz 85 g syrop maltozowy 30-procentowy, 120 g syrop maltozowy 50-procentowy, 85 g roztwór maltodekstryny średniosukrzonowej 30-procentowej lub 120 g roztwór maltodekstryny średniosukrzonowej 50-procentowej; temp. powietrza wlotowego 50°C; strumień przepływu powietrza przez złożo od 50 do 80 m<sup>3</sup>/h; ciśnienie sprężonego powietrza w dyszy rozpylającej 50 kPa; nawilżanie z przerwami w czasie do 10 min; suszenie aglomeratu 15 min powietrzem wlotowym o temp. 50°C. Aglomerację w aparacie PLUGHSHARE MIXER prowadzono wg następujących parametrów: wsad, masa mieszaniny – 400 g; ciecz nawilżająca, woda – 70 g oraz 30-procentowy syrop maltozowy – 100 g, 50-procentowy syrop maltozowy – 140 g, 30-procentowy roztwór maltodekstryny średniosukrzonowej – 100 g lub 50-procentowy roztwór maltodekstryny średniosukrzonowej – 140 g; temp. granulacji 22°C; prędkość mieszadła impelerowego 200 obr./min; czas granulacji 3 min, ciśnienie sprężonego powietrza w dyszy rozpylającej 50 kPa; suszenie aglomeratu 30 min powietrzem wlotowym o temp. 50°C.

Każdego rodzaju mieszaniny w formie proszku oraz aglomeratu (frakcji użytecznej o rozmiarach cząstek 0,2-2 mm) analizowano, oznaczając podstawowe właściwości fizyczne: wielkość cząstek, gęstość nasypową, porowatość, sypkość i zwilżalność w wodzie.

Średni wymiar cząstek aglomeratów  $d_{50}$  oznaczano przy użyciu analizatora wielkości cząstek ciał stałych w powietrzu AWK – V 97 (Kamika Warszawa), zaś wymiar  $d_{50}$  cząstek mieszaniny nieaglomerowanej stosując Master Sizer Microplus (Malvern Instruments). Gęstość nasypową luźną  $\rho_L$  (gęstość nasypowa materiału luźno usypanego) i utrzoną  $\rho_T$  (gęstość nasypowa materiału upakowanego 1250 standardowymi postukiwaniem) [2, 8, 13] oznaczano z wykorzystaniem objętościomierza wstrząsowego STAV 2003 (Engelsmann AG, Niemcy). Gęstość rzeczywistą  $\rho$  wyznaczano przy użyciu piknometru helowego Stereopycnometer (Quantachrome Instruments). Na podstawie gęstości  $\rho$ ,  $\rho_L$  i  $\rho_T$  obliczano porowatość złoża proszku lub aglomeratu: luźno usypanego  $\varepsilon_L = (1 - \rho_L / \rho)$  i upakowanego  $\varepsilon_T = (1 - \rho_T / \rho)$ . Sypkość  $I_S$  określano jako czas potrzebny do wysypu 25 cm<sup>3</sup> proszku lub aglomeratu przez szczeliny obracającego się naczynia [8, 13]. Zwilżalność w wodzie ( $z$ ) oznaczano jako czas potrzebny do zwilżenia wszystkich cząstek proszku lub aglomeratu zawartych w masie 10 g [8, 13].

## Wyniki i dyskusja

Wymagane cechy użytkowe spożywczych aglomerowanych produktów sypkich dotyczą głównie dobrej sypkości, szybkiej rozpuszczalności w cieczach, zmniejszonej zawartości pyłu. Aglomeracja nawilżeniowa poprzez mieszanie modelowej żywności w proszku, przeprowadzona zarówno w pneumatycznie (STREA 1), jak i mechanicznie (PLUGHSHARE MIXER) generowanym złożu fluidalnym, umożliwia otrzymanie produktu spełniającego powyższe wymagania. Nadanie pożądanych cech modelowej żywności w proszku poprzez aglomerację uzależnione było od rodzaju mieszaniny i od zastosowanej metody aglomeracji. Na podstawie wyników można było także stwierdzić, że mieszaniny proszków spożywczych, zdecydowanie różniących się pochodzeniem i składem chemicznym mogą być podobne pod względem właściwości fizycznych.

Wielkość cząstek odgrywa szczególną rolę, gdyż wykazuje 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  $\mu\text{m}$ , proszki mogą charakteryzować się dobrą sypkością, natomiast proszki drobne zalicza się do proszków kohezyjnych, a ich dozowanie jest trudniejsze [6, 10]. W tab. 1. przedstawiono wartości średniej średnicy  $d_{50}$  badanych mieszanin odpowiednio w formie proszku oraz aglomeratu. Średnią średnicę  $d_{50}$  przyjmowano jako medianę skumulowanego rozkładu udziałów objętościowych. Proces aglomeracji zmieniał skład granulometryczny w stronę większych cząstek. Średnica  $d_{50}$  mieszanin nieaglomerowanych wynosiła 52–75  $\mu\text{m}$ , a mieszanin aglomerowanych w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym 346–68  $\mu\text{m}$ , natomiast mieszanin aglomerowanych w mechanicznie generowanym złożu fluidalnym 351–606  $\mu\text{m}$  (nawet 968  $\mu\text{m}$  w przypadku proszku mlecznego). Aglomeracja badanych mieszanin w aparacie STREA 1 zwiększyła wymiar charakterystyczny cząstek średnio 5–12 razy, natomiast aglomeracja w mieszalniku PLUGHSHARE MIXER średnio 6–11 razy (17 razy w przypadku proszku mlecznego). Zastosowanie roztworów węglowodanów zamiast wody, jako cieczy nawilżającej, podczas aglomeracji mieszaniny A w aparacie STREA 1 spowodowało zwiększenie wymiarów granu, natomiast w przypadku aglomeracji w PLUGHSHARE MIXER ich zmniejszenie.

Gęstość rzeczywista  $\rho$  badanych mieszanin przed i po aglomeracji przyjmowała zbliżone wartości (tab. 1). Przy czym mieszaniny aglomerowane w mieszalniku PLUGHSHARE MIXER w porównaniu z proszkami charakteryzowały się o kilka procent wyższą gęstością rzeczywistą  $\rho$ , niezależnie od rodzaju mieszaniny i cieczy nawilżającej. Zwiększenie gęstości  $\rho$  na skutek aglomeracji w mieszalniku STREA 1 występowało tylko w przypadku mieszanin trójskładnikowych. Wyższa gęstość  $\rho$

Tabela 1

Średnia średnica  $d_{50}$  i gęstość rzeczywista  $\rho$  modelowych mieszanin w proszku oraz aglomeratów uzyskanych z tych mieszanin.

Mean diameter  $d_{50}$  and apparent density  $\rho$  of model mixture powders and of agglomerates produced from those mixtures.

Aglomerat / Agglomerate			$d_{50}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\rho$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
Aglomerator Device	Ciecz nawilżająca Wetting liquid	Materiał <sup>a)</sup> Material <sup>a)</sup>		
	proszek powder	A B C D F PM	53±1 66±1 52±1 49±1 75±1 56±1	1139±10 1222±15 1049±22 1092±24 1045±6 1035±2
STREA 1	woda / water woda / water woda / water woda / water woda / water woda / water	A B C D F PM	380±1 346±3 384±3 340±3 506±15 467±3	1017±5 1117±1 1148±14 1205±13 1224±3 1037±3
PLUGHSHARE MIXER	woda / water woda / water woda / water woda / water woda / water woda / water	A B C D F PM	604±13 417±16 351±12 385±6 604±34 968±39	1216±0 1229±3 1148±3 1224±5 1144±1 1109±5
STREA 1	maltoza 30% / maltose 30% maltoza 50% / maltose 50% maltodekstryna 30% / maltodextrin 30% maltodekstryna 50% / maltodextrin 50%	A A A A	497±42 437±9 525±15 687±7	1011±1 1112±2 1097±2 1174±2
PLUGHSHARE MIXER	maltoza 30% / maltose 30% maltoza 50% / maltose 50% maltodekstryna 30% / maltodextrin 30% maltodekstryna 50% / maltodextrin 50%	A A A A	481±11 358±8 430±3 606±5	1205±2 1223±0 1212±2 1205±3

Objaśnienia: / Explanatory notes:

<sup>a)</sup> skład surowcowy w Metodyce

<sup>a)</sup> raw material composition in the "Methodology"

$d_{50}$  – średnia średnica cząstek,  $\rho$  – gęstość rzeczywista

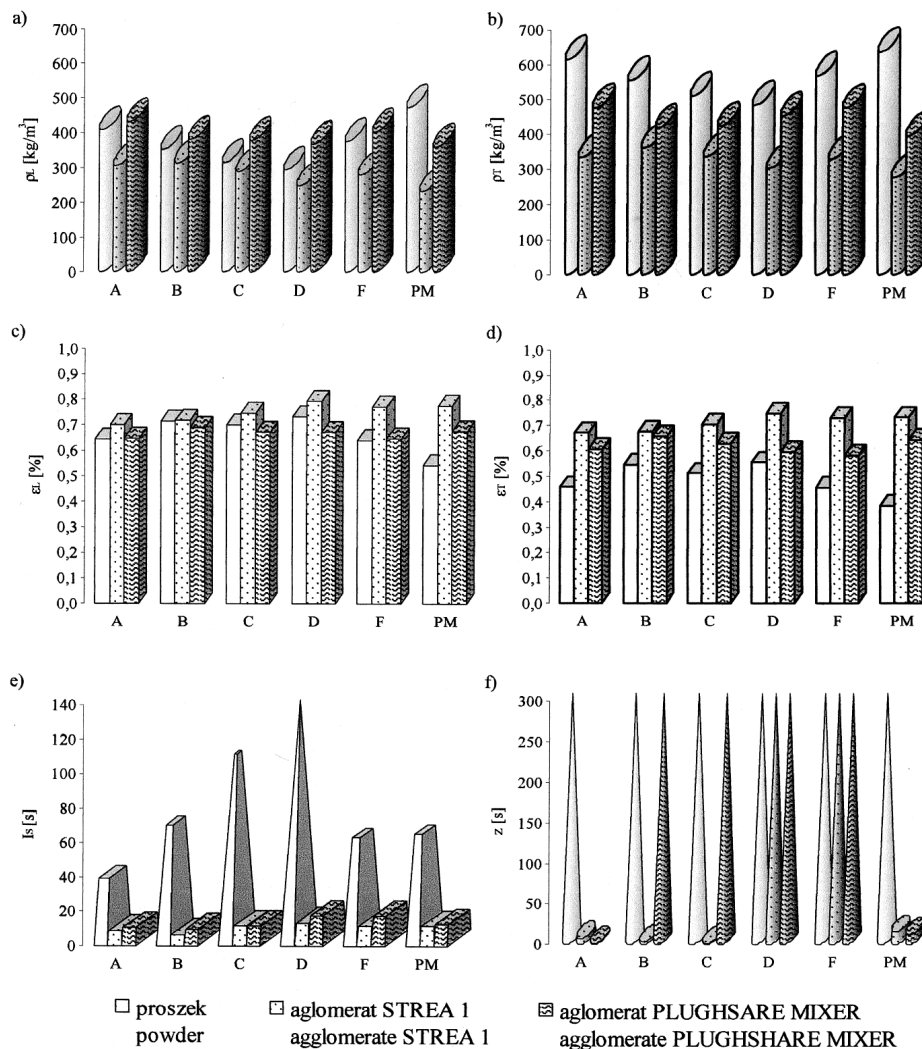
$d_{50}$  – mean diameter of particles,  $\rho$  – apparent density

proszków aglomerowanych przez mieszanie mechaniczne sugeruje wystąpienie bardziej upakowanej struktury granul.

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, 6]. Gęstość nasypowa luźna  $\rho_L$  określa objętość proszku luźno przesypanego razem z objętością przestrzeni

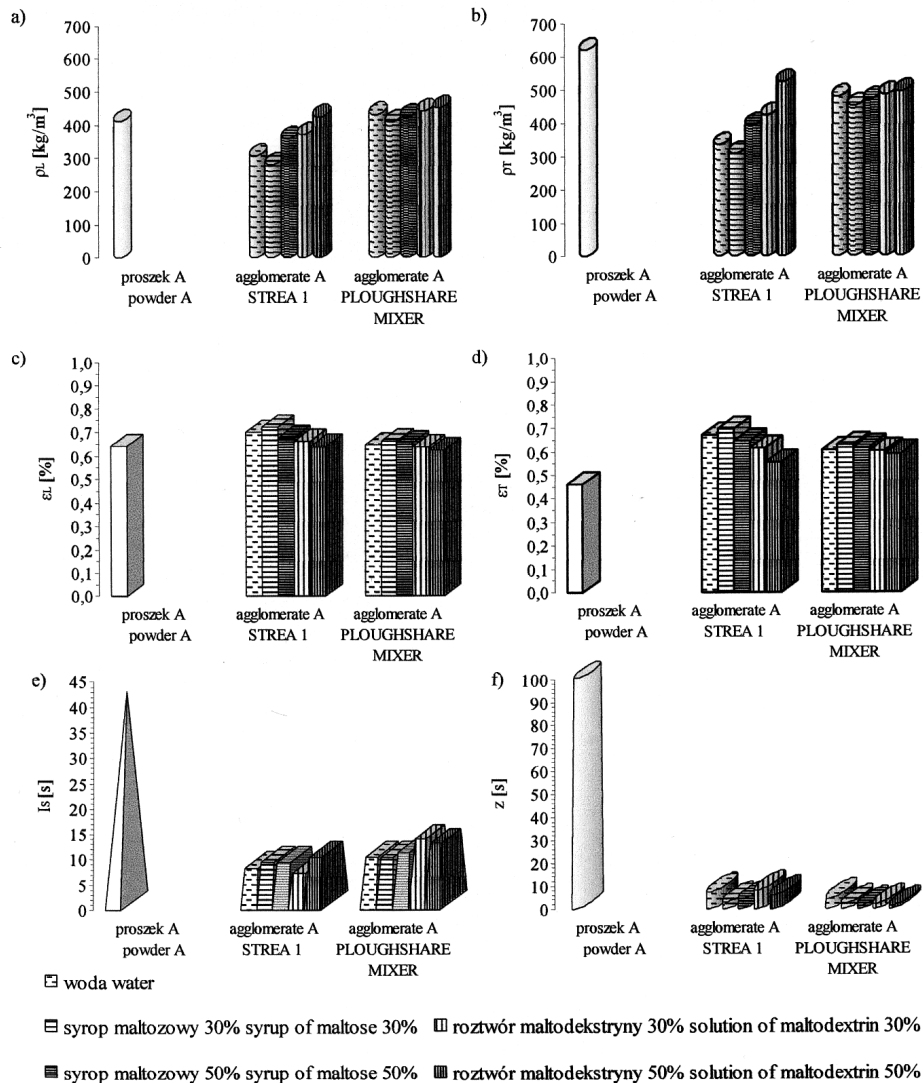
między cząstkami proszku. Aby poprawić upakowanie proszku stosuje się „postukiwanie”. W wyniku ubijania mniejsze cząstki przechodzą w puste przestrzenie pomiędzy większymi i objętość proszku zmniejsza się. Obliczona gęstość materiału standardowo upakowanego (utrąsionego) do najmniejszej objętości jest tak zwaną gęstością nasypową utrąsioną  $\rho_T$ . Gęstość nasypowa luźna i utrąsiona mieszanin nieaglomerowanych wynosiła odpowiednio  $\rho_L$  295÷473 i  $\rho_T$  485÷638 kg/m<sup>3</sup> (rys. 1a i 1b). Aglomeracja wodą badanych mieszanin zdecydowanie obniżyła ich gęstość nasypową, niezależnie od rodzaju mieszaniny i metody aglomeracji. Gęstość nasypowa luźna i utrąsiona aglomeratów otrzymanych w aparacie STREA 1 (mieszanie pneumatyczne) wynosiła odpowiednio  $\rho_L$  235÷314 i  $\rho_T$  278÷362 kg/m<sup>3</sup>, zaś aglomeratów otrzymanych w aparacie PLUGHSHARE MIXER (mieszanie mechaniczne) odpowiednio  $\rho_L$  360÷431 i  $\rho_T$  396÷477 kg/m<sup>3</sup> (rys. 1a i 1b). Bardziej znaczące zmniejszenie gęstości nasypowej zaobserwowano w przypadku aglomeracji w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym. Spadek gęstości  $\rho_T$  wynosił odpowiednio 34-56% (STREA 1) i 7-38% (PLUGHSHARE MIXER). W przypadku gęstości nasypowej luźnej aglomeracja w aglomeratorze STREA 1 spowodowała zmniejszenie  $\rho_L$  o 8-50%, natomiast aglomeracja w mieszalniku PLUGHSHARE MIXER zwiększenie  $\rho_L$  o 6-25% oraz zmniejszenie  $\rho_L$  o 24% tylko w przypadku proszku mlecznego. Podobna tendencja zmiany gęstości nasypowej  $\rho_L$  i  $\rho_T$  na skutek aglomeracji utrzymywała się przy zastosowaniu roztworów węglowodanów jako cieczy nawilżającej (rys. 2a i 2b). Aglomeraty mieszaniny A otrzymane przy użyciu roztworu maltodekstryny w porównaniu z aglomeratem A nawilżanym wodą, charakteryzowały się zdecydowanie wyższą gęstością  $\rho_L$  i  $\rho_T$  zarówno w przypadku aglomeratora STREA 1, jak i mieszalniku PLUGHSHARE MIXER. Istotnie mniejszą gęstość nasypową aglomeratów otrzymywanych w pneumatycznie generowanym złożu fluidalnym można wyjaśnić większą porowatością i nieregularnością kształtu cząstek tych aglomeratów [5, 9, 11].

Z gęstością nasypową i gęstością rzeczywistą związana jest porowatość złoża materiału sypkiego, obejmująca zewnętrzną międzyziarnową porowatość, czyli system pustych przestrzeni pomiędzy poszczególnymi cząstkami i porowatość wewnętrzną, czyli sieć porów i kapilar w obrębie pojedynczych cząstek. Droбноziarniste kohezyjne materiały sypkie w formie proszku charakteryzują się wysoką porowatością złoża proszku luźno usypanego na skutek tworzenia dużych wolnych przestrzeni międzycząstkowych. Porowatość luźna  $\varepsilon_L$  badanych mieszanin w formie proszku



Rys. 1. Wpływ aglomeracji wodą w pneumatycznie (STREA 1) i mechanicznie (PLUGHSARE MIXER) generowanym złożu fluidalnym na fizyczne właściwości modelowych mieszanin proszków spożywczych A, B, C, D, F i PM: a) gęstość nasypowa luźna  $\rho_L$ , b) gęstość nasypowa utrzęsiona  $\rho_T$ , c) porowatość luźna  $\epsilon_L$ , d) porowatość utrzęsiona  $\epsilon_T$ , e) sypkość  $I_s$ , f) zwilżalność  $z$ .

Fig. 1. The effect of wet agglomeration in pneumatically (STREA 1) and mechanically (PLUGHSARE MIXER) generated fluidized bed on the physical properties of model mixtures of food powders A, B, C, D, F, and PM on physical properties: a) loose bulk density  $\rho_L$ , b) tapped bulk density  $\rho_T$ , c) loose porosity  $\epsilon_L$ , d) tapped porosity  $\epsilon_T$ , e) flowability  $I_s$ , f) wettability  $z$ .



Rys. 2. Wpływ aglomeracji roztworami węglowodanów w pneumatycznie (STREA 1) i mechanicznie (PLUGHSHARE MIXER) generowanym złożu fluidalnym na fizyczne właściwości mieszanki A: a) gęstość nasypowa luźna  $\rho_L$ , b) gęstość nasypowa utrząsiona  $\rho_T$ , c) porowatość luźna  $\varepsilon_L$ , d) porowatość utrząsiona  $\varepsilon_T$ , e) sypkłość  $I_S$ , f) zwilżalność  $z$ .

Fig. 2. The effect of agglomeration by carbohydrates solutions in a pneumatically (STREA 1) and mechanically (PLUGHSHARE MIXER) generated fluidized bed on physical properties of a mixture A: a) loose bulk density  $\rho_L$ , b) tapped bulk density  $\rho_T$ , c) loose porosity  $\varepsilon_L$ , d) tapped porosity  $\varepsilon_T$ , e) flowability  $I_S$ , f) wettability  $z$ .

przyjmowała wartości w zakresie od 0,54 do 0,73. Porowatość  $\varepsilon_L$  aglomeratów mieszanin otrzymanych w mieszalniku STREA 1 była o kilka procent wyższa, zaś aglomeratów z mieszalnika PLUGHSHARE MIXER o kilka procent niższa w stosunku



do proszków (rys. 1c). Porowatość złoża upakowanego  $\varepsilon_T$  badanych mieszanin wynosiła odpowiednio: 0,38–0,56 (proszki), 0,67–0,75 (aglomerat STREA 1) i 0,58–0,66 (aglomerat PLUGHSHARE MIXER) (rys. 1d). Aglomeracja wodą w złożu fluidalnym generowanym pneumatycznie wiązała się z 24–90% wzrostem porowatości  $\varepsilon_T$ , gdy w mechanicznie generowanym tylko z 7–67%. Podobna tendencja zmiany porowatości  $\varepsilon_L$  i  $\varepsilon_T$  na skutek aglomeracji utrzymywała się przy zastosowaniu roztworów węglowodanów (rys. 2c i 2d). Nawilżanie roztworami węglowodanów wiąże się z otrzymaniem aglomeratu o niższej porowatości w porównaniu z aglomeracją wodą, zwłaszcza w przypadku mieszania pneumatycznego i roztworu maltodekstryny.

Wyróżnik  $I_S$  badanych produktów charakteryzuje sypkość materiału w warunkach dynamicznych, podobnych do przesypywania i transportu mechanicznego materiałów sypkich i nie wymaga konsolidacji próbki. Wysyp proszku  $I_S$  w czasie do 20 s wg kryterium NIRO pozwala sklasyfikować materiał sypki jako swobodnie płynący, zaś czas wysypu powyżej 60 s określa materiał jako trudno płynący [8]. Wyróżnik sypkości  $I_S$  jako czas wysypu określa badane mieszaniny w proszku jako słabo sypkie (rys. 1e). Mieszanina A wysypywała się w ciągu ok. 40 s, zaś mieszaniny B, C, D, F i PM w czasie dłuższym niż 60 s. Przy czym należy zauważyć, że mieszaniny C i D zawierające większą ilość białka charakteryzowały się 2-3-krotnie dłuższym czasem wysypu  $I_S$  wynoszącym odpowiednio 108 i 138 s. Ponadto obecność w mieszaninie izolatu białek serwatkowych wpłynęła na pogorszenie sypkości. Mieszaniny B i D wysypywały 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 i cieczy nawilżającej, według wyróżnika  $I_S$  wykazywała bardzo dobrą sypkość, gdyż wysypywała się w czasie krótszym niż 20 s (rys. 1e i 2e).

Wskaźnikiem charakteryzującym właściwości rekonstruktoryjne jest zwilżalność określana jako wskaźnik szybkości odtwarzania proszków w cieczy [8, 15]. Zwilżalność wyznaczano jako czas zwilżenia wszystkich cząstek proszku zawartych w masie 10 g i nasypanych na swobodną powierzchnię wody o temp. 20°C. Zwilżalność mieszanin nieaglomerowanych była niewielka, gdyż porcja proszku utrzymywała się na powierzchni cieczy przez czas dłuższy niż 3 min. Mieszaniny te ulegały zdyspergowaniu w wodzie dopiero w trakcie intensywnego mieszania. Zwilżalność odpowiadająca właściwości błyskawicznej rozpuszczalności instant (czas zwilżania <15 s) na skutek aglomeracji w aglomeratorze STREA 1 uzyskano w przypadku mieszanin A, B, C i PM, zaś na skutek aglomeracji w aparacie PLUGHSHARE MIXER tylko w przypadku mieszanin A i PM (rys. 1f i 2f). Nadanie cechy instant zwilżalności mieszaninom zawierającym w składzie tłuszcz lub większą ilość białka może wiązać się z zastosowaniem podczas aglomeracji preparatów powierzchniowo czynnych, jak na przykład lecytyny [3, 11].

## Wnioski

1. Aglomeracja nawilżeniowa poprzez mieszanie modelowej żywności w proszku, przeprowadzona zarówno w pneumatycznie, jak i mechanicznie generowanym złożu fluidalnym, umożliwia otrzymanie produktu o zmniejszonej zawartości pyłu, dobrej sypkości i szybkiej rozpuszczalności w cieczach.
2. Większa gęstość nasypowa i gęstość rzeczywista oraz mniejsza porowatość złoża proszków aglomerowanych przez mieszanie mechaniczne wskazuje na istnienie bardziej upakowanej struktury tych aglomeratów.
3. Nawilżanie roztworami węglowodanów podczas aglomeracji może spowodować otrzymanie aglomeratu o większej gęstości nasypowej i mniejszej porowatości w porównaniu z aglomeracją wodą, zwłaszcza w przypadku mieszania pneumatycznego i nawilżania roztworem maltodekstryny.
4. Nadanie cechy instant zwilżalności modelowej żywności w proszku poprzez aglomerację uzależnione jest od jej składu surowcowego.

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

## Literatura

- [1] Abdullah E.C., Geldart D.: The use of bulk density measurements as flowability indicators. *Powder Technol.*, 1999, **102**, 151-165.
- [2] DIN ISO 3953: 1995. Metallic powders - Determination of tap density
- [3] Domian E., Grzegorzczak K.: Wybrane właściwości fizyczne modelowego napoju sojowego w proszku w aspekcie aglomeracji preparatami lecytynowymi. *Inż. i Ap. Chem.*, 2004, **43 (3s)**, 31-32.
- [4] Domian E.: Aglomeracja w przemyśle spożywczym. *Przem. Spoż.*, 2002, **8 (56)**, 80-86, 88.
- [5] Faure A., York P., Rowe R.C.: Process control and scale-up of pharmaceutical wet granulation processes: a review. *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, 2001, **52**, 269-277.
- [6] Peleg M.: Flowability of food powders and methods for its evaluation – a review. *J. Food Proc. Eng.*, 1978, **1**, 303-328.
- [7] Pietsch W.: An interdisciplinary approach to size enlargement by agglomeration. *Powder Technol.*, 2003, **130**, 8-13.
- [8] Pisecky J.: *Handbook of Milk Powder Manufacture Copenhagen Niro A/S*, 1997.
- [9] Rambali B., Baert L., Massart D.L.: Using experimental design to optimize the process parameters in fluidized bed granulation on semi – full scale. *Int. J. Pharm.*, 2001, **220**, 149-160.
- [10] Schubert H.: Food Particle Technology. Part I: Properties of particles and particulate food systems. *J. Food Eng.*, 1987, **6 (1)**, 1-32.
- [11] Schubert H.: Instantization of powdered foods. *Int. Chem. Eng.*, 1993, **33 (1)**, 28-45.
- [12] Schubert H., Ax K., Behrend O.: Product engineering of dispersed systems. *Trends Food Sci. Technol.*, 2003, **14**, 9-16.
- [13] Soerensen J.H., Krag J., Pisecky J., Westergaard V.: *Analytical methods for dry milk products. A/S Niro Atomizer Copenhagen, Denmark*, 1978.

**PHYSICAL PROPERTIES OF MODEL FOOD POWDERS FROM THE POINT OF VIEW OF THE AGGLOMERATION METHOD****S u m m a r y**

The objective of the paper was to determine the effect of wet agglomeration performed through mixing in a fluidized bed on some selected physical properties of agglomerates produced; an example of a model food powders was used to exemplify this effect. The agglomeration process was performed using two methods: in a pneumatic and in a mechanically generated fluidized bed. The analysis of physical properties included: size of particles, granulometric composition, loose and tapped bulk density, porosity, flowability, and wettability. The model food powders were mixtures composed of such food powders as: whey, soy protein isolate, whey protein isolate, glucose, milk powder, and vegetable fat. Non-agglomerated mixtures were fine-grained and sparingly water-soluble powders showing a high loose and tapped bulk density, and a poor flowability. The wet agglomeration process, if carried out by mixing the model food powders, and if performed both in the pneumatically and the mechanically generated fluidized bed, makes it possible to produce a final product containing less dust, showing good flowability, and quickly dissolving in liquids. The higher bulk and apparent density rates, as well as the lower porosity of the bed with powders agglomerated by mechanical mixing show the occurrence of a closer packed structure of those agglomerates. If, during the agglomeration, wetting by carbohydrate is applied, in particular in the case of the pneumatic mixing and wetting by maltodextrin, then, it is possible to produce an agglomerate of a higher bulk density and a lower porosity compared to the agglomerate produced using water. The raw materials composition of model food powders is a factor deciding on whether or not model food powders are provided with instant wettability feature.

**Key words:** agglomeration, food powders, fluid bed ☒