

Irmira ZAGAJ¹, Karina IGNASIAK², Roman ULBRICH¹

e-mail: i.zagaj@o2.pl

¹ Katedra Inżynierii Środowiska, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole² Instytut Chemicznej Przetwórci Węgla, Zabrze

Wpływ gęstości i kształtu cząstek na segregację w separatorze pneumatycznym

Wstęp

Jedną z metod rozdziału zbioru cząstek chemicznie jednorodnych na frakcje o różnych właściwościach fizycznych jest klasyfikacja pneumatyczna. Różnorodność cech fizycznych cząstek ciała stałego (wielkość, kształt, gęstość, własności magnetyczne i elektryczne oraz zwilżalność) umożliwia przeprowadzenie sortowania materiałów na grupy o określonych cechach [Piątkiewicz, 1999].

W klasyfikacji pneumatycznej głównie wykorzystuje się różnicę gęstości, kształtu oraz wielkości cząstek do rozdziału zbiorów cząstek na poszczególne frakcje.

W niniejszej pracy zbadano wpływ wybranych właściwości fizycznych cząstek na zjawisko segregacji w separatorze pneumatycznym stosując dwa systemy [Jain i in., 2009]:

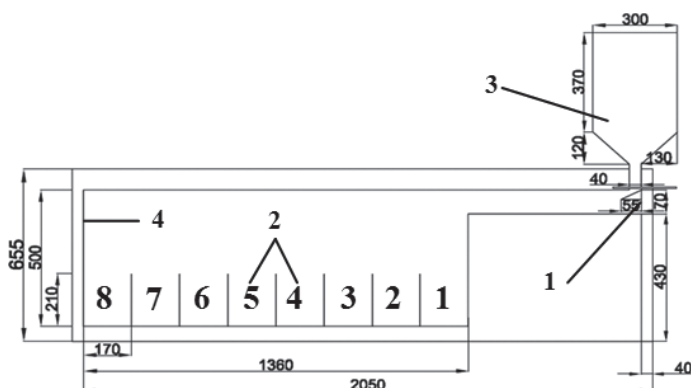
- D (*density*) – dla cząstek o tej samej wielkości, lecz różnej gęstości,
- S (*shape*) – dla cząstek o podobnej gęstości, ale różnym kształcie.

Segregacja jest zjawiskiem towarzyszącym procesom przetwarzania, magazynowania oraz transportu pneumatycznego materiałów ziarnistych. W przypadku, gdy materiał transportowany jest do separatorów pneumatycznych, większość tych materiałów stanowią zazwyczaj mieszaniny zróżnicowane pod względem rozmiarów, jak również gęstości oraz kształtu cząstek. Zachowanie odpowiednich proporcji udziału składników mieszaniny jest niezwykle istotne w warunkach przemysłowych.

W celu rozdzielenia transportowanej mieszaniny na frakcje o odpowiednich właściwościach w transporcie pneumatycznym często stosuje się klasyfikatory pneumatyczne [Shapiro i Galperin, 2004]. Analiza parametrów właściwości fizycznych cząstek, jak gęstość i kształt mieszaniny pozwala na zbadanie ich wpływu na występowanie zjawiska segregacji [Ketterhagen i in., 2008]. W przypadku, gdy materiał jest transportowany do klasyfikatorów pneumatycznych, odpowiedni dobór parametru ruchowego, jak prędkość nośnika transportowego może intensyfikować zjawisko segregacji, co może zwiększyć wydajność pracy separatora [Ignasiak, 2010; Ignasiak i Ulbrich, 2011].

Stanowisko pomiarowe

Badania dotyczące oceny wpływu gęstości oraz kształtu cząstek na skalę zjawiska segregacji materiału zrealizowano przy użyciu poziomego separatora pneumatycznego (Rys. 1).



Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – wlot gazu, 2 – osiem stref separacyjnych, 3 – zbiornik dozujący cząstki ciała stałego, 4 – wylot gazu

W górnej części separatora pneumatycznego znajdował się zbiornik zasypowy – 3 zaopatrzony w zasuwę, która pozwalała dozować odpowiednią ilość cząstek mieszaniny. Z kolei w dolnej części znajdował się zbiornik z podziałem na osiem równych stref separacyjnych – 2, do których opadały posegregowane cząstki ciała stałego. Powietrze doprowadzono za pomocą sprężarki i a jego natężenie przepływu regulowano za pomocą rotamtru.

Materiały badawcze

Do oceny wpływu gęstości cząstek na proces segregacji wykorzystano cząstki o kształcie kulistym wykonane z tworzywa sztucznego. Materiały połączono w układy dwuskładnikowe tworząc mieszaninę cząstek o takich samych średnicach, lecz różnych gęstościach. Stałym komponentem wszystkich mieszanin był materiał o najmniejszej gęstości K1, który zawsze występował w większej ilości (w stosunku objętościowym 2:1).

W celu oceny wpływu kształtu cząstek na proces segregacji wykorzystano cząstki o różnym kształcie, lecz podobnej gęstości. Materiały połączono z cząstkami kulistymi K1 tworząc układy dwuskładnikowe. Materiałom oraz ich układom dwuskładnikowym przypisano określone oznaczenia zaprezentowane w tab. 1.

Tab. 1. Materiały badawcze ich oznaczenia i właściwości

Materiał	Oznaczenie materiału	Oznaczenie układu	Średnica powierzchniowa cząstek d_s [mm]	Gęstość nasypowa ρ [kg/m ³]	Sferyczność ψ
Kulki	K1	–	6	750	1,00
Kulki	K2	K1-K2	6	1100	1,00
Kulki	K3	K1-K3	6	1250	1,00
Graniastolup prosty	M2	K1-M2	6	1500	0,72
Walec pochyły	M3	K1-M3	6	1500	0,87

Koncepcja oraz metodyka badań

Materiał po uprzednim wymieszaniu zasypywano do zbiornika dozującego, gdzie po zwolnieniu zasuw trafiał na strumień gazu transportującego. Wskutek wzajemnych oddziaływań cząstek na siebie oraz na ścianki kanału opadały do poszczególnych stref separacyjnych. Następnie zostały ręcznie rozdzielone oraz zważone, aby wyznaczyć koncentrację frakcyjną komponentów w poszczególnych strefach separacyjnych. W celu określenia charakteru zmienności rozkładu koncentracji cząstek posłużono się współczynnikiem rozrzutu CoV , który umożliwił ocenę stopnia segregacji [Kukukova i in., 2009]:

$$CoV = \frac{\sum (F_{j,i} - \bar{F}_{j,i})^2}{\bar{F}_{j,i} \sqrt{N - 1}} \quad (1)$$

gdzie:

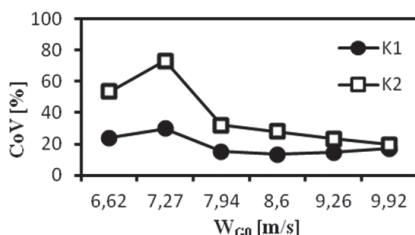
- $F_{j,i}$ – koncentracja frakcyjna,
- $\bar{F}_{j,i}$ – średnia wartość koncentracji cząstek we wszystkich strefach,
- N – liczba stref.

Nośnikiem transportowym było powietrze atmosferyczne, tłoczone sprężarką w zakresie prędkości 6,62–9,92 m/s. Zakres prędkości powietrza dobrano na podstawie wstępnych badań. Stwierdzono, że nadmierna prędkość nośnika, tzn. powyżej 9,92 m/s powoduje porywanie

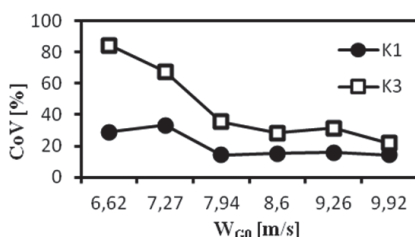
cząstek przez strumień przepływającego powietrza w konsekwencji czego, cząstki intensywnie odbijają się o końcowe ścianki rurociągu. W przypadku prędkości gazu poniżej 6,62 m/s cząstki wykazywały skłonność do gromadzenia się w dolnej części rurociągu rozbiegowego w konsekwencji prowadząc do powstania wydm.

Wyniki badań

Na rys. 2 i 3 zaprezentowano wpływ prędkości gazu na wielkość współczynnika rozrzutu cząstek o tej samej wielkości i kształcie, lecz różnej gęstości. W przypadku wysokiej wartości współczynnika CoV materiał wykazywał skłonność do gromadzenia się w dużej ilości w niewielkiej liczbie stref separacyjnych.



Rys. 2. Współczynnik rozrzutu koncentracji w zależności od prędkości gazu dla poszczególnych komponentów mieszaniny K1-K2

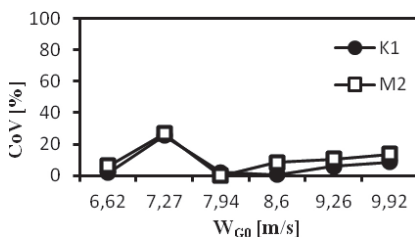


Rys. 3. Współczynnik rozrzutu koncentracji w zależności od prędkości gazu dla poszczególnych komponentów mieszaniny K1-K3

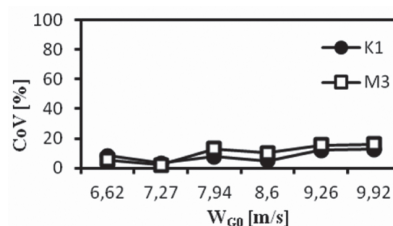
Na podstawie powyższych wykresów można stwierdzić iż współczynnik rozrzutu CoV najintensywniej ulega zmianom w zakresie niskich prędkości przepływającego gazu 6,62÷7,27 m/s. Po przekroczeniu tego zakresu, prędkość nośnika oraz gęstość materiału nie wpływa znacząco na równomierność rozkładu cząstek w strefach separacyjnych. Najniższy stopień nierównomierności rozrzutu zaobserwowano dla stałego komponentu K1 o najmniejszej gęstości. Wpływ drugiego komponentu mieszaniny o większej gęstości na materiał K1 nie jest znaczny. Można również stwierdzić, że wraz ze wzrostem gęstości materiału wzrasta wartość współczynnika CoV , czyli skłonność materiału do segregacji.

Wpływ kształtu oraz gęstości materiału na wielkość współczynnika rozrzutu w zależności od prędkości gazu zaprezentowano na rys. 4 i 5.

Na wykresach przedstawiono zmiany współczynnika nierównomierności rozrzutu CoV dla układów materiałów o różnej gęstości oraz kształcie. Dla materiału K1-M2 prędkość gazu równa 7,27 m/s okazała się optymalna, ponieważ obydwa komponenty mieszaniny uległy znacznej segregacji w strefach rozdziału. Z kolei dla materiału K1-M3 prędkość gazu przy której cząstki ulegają rozdzielaniu wynosi powyżej 7,94 m/s. W celu oceny wpływu kształtu cząstek na skalę zjawiska segregacji należy porównać współczynnik nierównomierności rozrzutu materiału M2 z M3 (o takiej samej gęstości). Można zaważyć, że materiał M2 (graniastosłup prosty) lepiej ulega rozdzielaniu w strefach separacyjnych niż walec pochyły (M3). Rozkład współczynnika rozrzutu CoV stałego komponentu wszystkich mieszanin K1 jest uzależniony od drugiego komponentu z którym występuje.



Rys. 4. Współczynnik rozrzutu koncentracji w zależności od prędkości gazu dla poszczególnych komponentów mieszaniny K1-M2



Rys. 5. Współczynnik rozrzutu koncentracji w zależności od prędkości gazu dla poszczególnych komponentów mieszaniny K1-M3

zała się optymalna, ponieważ obydwa komponenty mieszaniny uległy znacznej segregacji w strefach rozdziału. Z kolei dla materiału K1-M3 prędkość gazu przy której cząstki ulegają rozdzielaniu wynosi powyżej 7,94 m/s. W celu oceny wpływu kształtu cząstek na skalę zjawiska segregacji należy porównać współczynnik nierównomierności rozrzutu materiału M2 z M3 (o takiej samej gęstości). Można zaważyć, że materiał M2 (graniastosłup prosty) lepiej ulega rozdzielaniu w strefach separacyjnych niż walec pochyły (M3). Rozkład współczynnika rozrzutu CoV stałego komponentu wszystkich mieszanin K1 jest uzależniony od drugiego komponentu z którym występuje.

Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że zarówno gęstość jak i kształt cząstek wpływają na rozmiar zjawiska segregacji, a tym samym na efektywność pracy separatora pneumatycznego.

Zaobserwowano, że prędkość gazu jest istotnym parametrem ruchowym wpływającym na nierównomierność rozkładu materiału w strefach separacyjnych. Dla użytych w badaniach cząstek oraz określonej geometrii separatora pneumatycznego wyznaczono zakresy prędkości, przy której najintensywniej występuje nierównomierność rozkładu cząstek w strefach separacyjnych.

Stwierdzono, że w układach materiałów o tym samym kształcie, lecz różnej gęstości przy wzroście prędkości gazu powoduje intensyfikację równomierności rozkładu cząstek w strefach separacyjnych.

Z kolei w przypadku zastosowania układów materiałów o różnym kształcie w połączeniu z materiałem o podobnej gęstości zaobserwowano, że cząstki o kształcie graniastosłupa prostego wykazują większą skłonność do gromadzenia się w nielicznych strefach separacyjnych w znacznie większej ilości niż cząstki walca pochyłego.

LITERATURA

- Ignasiak K., 2010. *Segregacja układu dwuskładnikowego podczas wypływu z poziomego rurociągu pneumatycznego*. Praca doktorska, Pol. Opolska, Opole
- Ignasiak K., Ulbrich R., 2011. *Aerodynamic assessment of granular materials segregations by use digital imaging anemometry*. The 6th International Conference on Transport Phenomena in Multiphase Systems. Ryn, Poland 28.06-02.07.2011
- Jain N., Ottino J.M., Lueptow R.M., 2009. Regimes of segregation and mixing in combined size and density granular systems: an experimental study, *Gran. Matter*, 7, nr 2-3, 69-81, DOI: 10.1007/s10035-005-0198-x
- Ketterhagen W.R., Curtis J.S., Wassgren C.R. Hancock B.C., 2006. Modeling granular segregation in flow from quasi-three-dimensional, wedge-shaped hoppers. *Pow. Tech.*, 179, nr 3, 126-143, DOI: 10.1016/j.powtec.2007.06.023
- Kukukova A., Aubim J., Kresta S.M., 2009. A new definition of mixing and segregation: Three dimensions of a key process variable. *Chem. Eng. Res. Des.*, 87, nr 4, 633-647, DOI: 10.1016/j.chemd.2009.01.001
- Piątkiewicz Z., 1999. *Transport pneumatyczny – monografia*. Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice
- Shapiro M., Galperin V., 2004. Air Classification of Solid Particles: a Review. Israel: *Chem. Eng. Proc.*, 44, nr 2, 279-285, DOI: 10.1016/j.ccep.2004.02.022