

Stanisław GAJDA, Paweł RATUSZNY

e-mail: ratuszny@uni.opole.pl

Katedra Inżynierii Procesowej, Uniwersytet Opolski, Opole

## Badanie zmiany jakości niejednorodnych układów ziarnistych podczas symulacji transportu

### Wstęp

Mieszanie materiałów ziarnistych jest procesem stosunkowo dobrze opisanym w literaturze, zarówno w publikacjach książkowych [Boss 1987; Stręk 1981], jak i w artykułach naukowych. Podstawowe problemy jak: czas mieszania, moc, metody oceny stanu mieszanin są opisane za pomocą modeli matematycznych, powszechnie wykorzystywanych na etapie produkcji oraz eksploatacji urządzeń. Do oceny jakości układu stosuje się indeksy lub stopnie zmieszania, przy czym niezależnie od wykorzystanej definicji, wartość liczbowa należy odnieść do właściwej skali jakości mieszanin [Boss, 1987].

Należy zwrócić jednak uwagę, że zakończenie procesu technologicznego jest tak naprawdę początkiem życia produktu, który należy w stanie niezmiennym dostarczyć do odbiorcy/klienta, niezależnie od tego, czy nabywcą jest detalista czy korporacja.

Można zatem stwierdzić, że problemy związane z transportem mieszanin ziarnistych są powiązane z procesami mieszania oraz segregacji.

O ile mieszanie jest procesem losowym, to segregacja, już takim być nie musi. Segregacji sprzyjają różnice własności ziaren, głównie gęstości i średnicy (lub średnicy zastępczej, dla ziaren niekulistych), a wzajemne relacje tych wielkości mają decydujące znaczenie dla procesu [Williams, 1976].

Przykładowo, kiedy stosunek gęstości materiału cięższego do lżejszego jest mniejszy od trzech, to wpływ różnicy wymiarów ziaren przeważa nad wpływem różnicy gęstości [Campbell i Bauer, 1966].

Również sposób prowadzenia procesu ma istotny wpływ zarówno na mieszanie jak i segregację układu ziarnistego. W przypadku mieszania niejednorodnych materiałów ziarnistych przy użyciu metody przesyłowej, wzrost wartości stosunku gęstości składników pogarsza wyniki mieszania, w przypadku metody wibracyjnej wpływa jednak na poprawę uzyskanych efektów [Boss i Tukiendorf, 2000].

Warto tutaj zwrócić uwagę na rzecz oczywistą, że zarówno dla procesu mieszania jak i segregacji niezbędne jest przemieszczanie się ziaren. Aby to nastąpiło, muszą wystąpić jednocześnie dwa czynniki: siła wywołująca ruch oraz wolna przestrzeń, którą ziarno może zająć [Stręk, 1981]. Aby zatem ograniczyć niekorzystne z praktycznego i ekonomicznego punktu widzenia zjawisko segregacji wtórnej, należy ograniczyć powyższe czynniki.

W transporcie drogowym ruch mieszanin wynika głównie z warunków drogowych, jakości nawierzchni, ale również zmian prędkości, zwłaszcza tych gwałtownych przy ruszaniu i hamowaniu. Trudno jednak wpłynąć na siłę wywołującą ruch ziaren w określonych środkach transportu.

W celu ograniczenia segregacji zaproponowano metodę polegającą na prasowaniu materiału ziarnistego w czasie jego pakowania. Metoda ta ograniczając swobodę ruchu ziaren przez zmniejszenie przestrzeni międzyziarnistych dodatkowo powoduje zmniejszenie objętości danej masy materiału. Daje to konkretne korzyści ekonomiczne, ponieważ tym samym transportem można przewieźć o wiele większą masę materiału. Badania takie przeprowadzono w warunkach rzeczywistych transportu drogowego, a ich wyniki przedstawiono w pracy [Gajda i Ratuszny, 2011].

W niniejszej pracy zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych nad możliwością ograniczenia zarówno segregacji jak i mieszania układów ziarnistych w czasie symulacji transportu drogowego, przy czym symulacja ta nie miała na celu odtworzenia warunków drogowych, lecz poddanie próbek znacznie większym obciążeniom, w celu udowodnienia skuteczności metody.

### Badania doświadczalne

Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie jak zachowują się niejednorodne układy ziarniste poddane wstrząsom symulującym warunki transportu drogowego. Postawiono tezę, że ograniczenie swobody ruchu ziaren w niejednorodnym układzie ziarnistym ogranicza zmianę jego jakości. Jak wspomniano wyżej – nie mając wpływu na warunki transportu drogowego ograniczono swobodny ruch ziaren poprzez sprasowanie złoza.

#### Materiały

Pomiarami objęto materiały pochodzenia rolniczego (ziarna zbóż) stanowiące składniki mieszanek paszowych i siewnych. Dla celów porównawczych użyto również substancji modelowej – agalitu. Właściwości użytych materiałów przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1 Właściwości materiałów użytych do badań

Materiał	Gęstość, kg/m <sup>3</sup>	Średnia średnica ziaren, mm
Soja	1200	5,5
Gorzycza	1250	2,5
Agalit	2400	2,5

Z powyższych materiałów, po serii wstępnej pomiarów, wytypowano 4 niejednorodne układy ziarniste, w których składnik kluczowy (traser) stanowił 10% objętości każdej próbki.

Tab. 2 Układy ziarniste użyte do badań

	Faza rozpraszająca	Traser	Sposób załadowania
Układ A	soja	agalit	materiał sprasowany
Układ B	soja	agalit	materiał swobodnie usypany
Układ C	soja	gorzycza	materiał sprasowany
Układ D	soja	gorzycza	materiał swobodnie usypany

#### Metodyka badań

W każdej próbie badano równocześnie dwie próbki, jedna była złożem usypanym swobodnie, druga została wstępnie sprasowana – redukcja wysokości złoza wynosiła 5%. Wywierane ciśnienie nie może być zbyt duże, ponieważ prowadziłoby to do uszkodzenia ziaren, a tym samym dyskwalifikacji materiału z punktu widzenia odbiorcy. Badano układy dwuskładnikowe, w których określano przejście traseru wzdłuż osi próbki, następnie wyznaczano stopień zmieszania układu  $M$ , korzystając z powszechnie stosowanej definicji Rose'a [1959]:

$$M = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_0} \quad (1)$$

gdzie:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - p)^2}{n}} \quad (2)$$

oraz:

$$\sigma_0 = \sqrt{p(1-p)} \quad (3)$$

gdzie:

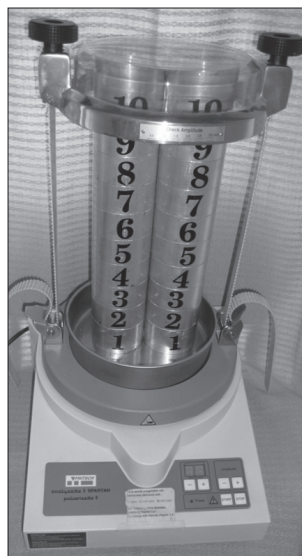
$M$  – stopień zmieszania wg Rose'a

$p$  – udział traseru w próbce

Badano proces segregacji oraz mieszania. W pierwszym przypadku przygotowano mieszaninę określaną w skali jakości mieszanin wg Bossa [1987], jako idealną ( $M = 0,99$ ), w drugim – na początku doświadczenia materiał znajdował się w pełnej segregacji ( $M = 0$ ), przy czym składnik kluczowy znajdował się w środkowej części próbki.

**Stanowisko badawcze**

Badania prowadzono na stanowisku pomiarowym nr 1 (Rys. 1) składającym się z wstrząsarki *Fritsch*, wykorzystywanej zwykle do analizy sitowej. Amplituda drgań wynosiła 3 mm, a częstotliwość 50 Hz. W urządzeniu tym zamiast zestawu sit umieszczono 2 specjalne kolumny pomiarowe, z których każda składała się z 10 ponumerowanych, równych segmentów. Łączna wysokość robocza kolumny to 350 mm, a średnica wewnętrzna 65 mm. Próbkę materiału umieszczano w urządzeniu i poddawano wstrząsaniu przez założony czas. Następnie ważono próbkę wagą laboratoryjną o dokładności pomiaru 0,1 g, określano udział masowy traserów w każdym segmencie kolumny i obliczano stopień zmieszania *M*. Po 90 min. układy osiągały stan równowagowy, co sprawdzono w serii wstępnej badań.

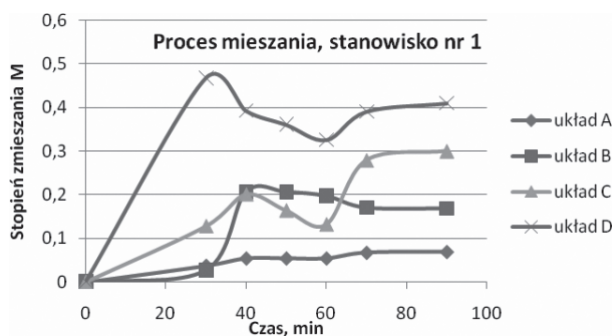


Rys. 1. Stanowisko pomiarowe nr 1

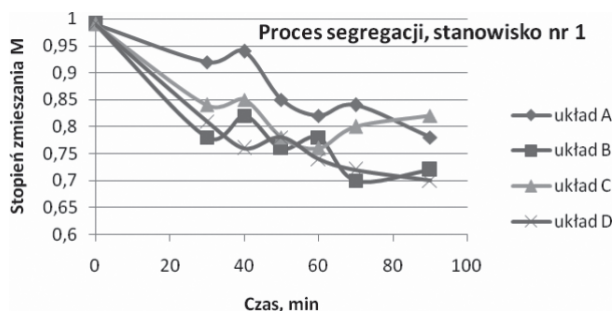
Proces mieszania dla układów A oraz B badano dodatkowo na stanowisku nr 2, o innej charakterystyce ruchu. Kolumny pomiarowe umieszczano w kasecie wykonującej ruch posuwisto-zwrotny, napędzanej układem korbowym. Silnik sterowany falownikiem, pozwalał na zaprogramowanie stosunkowo niewielkiej częstotliwości ruchu (200 oraz 230 obr/min), natomiast mechanizm korbowy pozwolił na ustawienie amplitudy ruchu na 30 mm. Ocena jakości układu jak wyżej (1). O ile na stanowisku nr 1 próbki poddano działaniu drgań o stosunkowo dużej częstotliwości ale małej amplitudzie, o tyle na stanowisku nr 2 amplituda była duża, natomiast częstotliwość mała.

**Wyniki badań i ich omówienie**

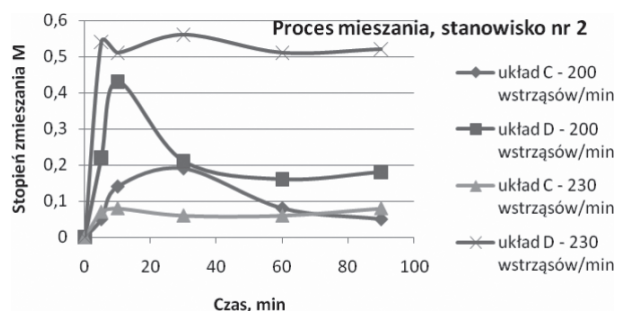
Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 2–4.



Rys. 2. Zmiana jakości układu ziarnistego, stan początkowy: pełna segregacja



Rys. 3. Zmiana jakości układu ziarnistego, stanowisko nr 1, stan początkowy: mieszanina idealna (1)



Rys. 4. Zmiana jakości układu ziarnistego – stanowisko nr 2, stan początkowy: pełna segregacja

We wszystkich pomiarach, składnik kluczowy w próbkach poddanych wstępnemu sprasowaniu migrował wyraźnie słabiej niż w próbkach usypanych luźno, niezależnie od tego czy badano proces mieszania czy segregacji. Niestety w próbkach wstępnie sprasowanych również następowała migracja traserów. Przyczyną tego jest ograniczenie możliwości do zastosowania nacisku, wynikające z rolniczego pochodzenia materiału i jego stosunkowo dużych wymiarów.

W układzie z substancją modelową o znacznie większej gęstości zaszła mniejsza migracja ziaren. Układ składający się z ziaren soi i gorczycy (podobna gęstość, ale ok. dwukrotna różnica średnic) wykazał znacznie większą skłonność do migracji na stanowisku o wolniejszych wibracjach, ale większej amplitudzie.

Odnosząc uzyskane wyniki do wyników badań w warunkach rzeczywistych [Gajda i Ratuszny, 2011], można stwierdzić, że symulacja laboratoryjna bardziej obciążała wstrząsami badane próbki. Obserwacja ta wskazała na konieczność lepszego skorelowania warunków laboratoryjnych z rzeczywistymi; prace w tym obszarze już trwają.

**Wnioski**

Ograniczenie przestrzeni międzyziarnowych poprzez sprasowanie ogranicza migrację ziaren, a tym samym zmianę jakości układu ziarnistego.

Układ, w którym ziarna różnią się gęstością wykazuje mniejszą skłonność do zmiany jakości od układu, w którym ziarna różnią się jedynie rozmiarem.

Sprasowanie ziaren stanowi lepsze zabezpieczenie przed zmianą jakości układu w przypadku wstrząsów o mniejszej częstotliwości i większej amplitudzie (warunki te są bliższe rzeczywistym warunkom ruchu drogowego), niż w przypadku szybkich wstrząsów o małej amplitudzie.

**LITERATURA**

Boss J., 1987. *Mieszanie materiałów ziarnistych*. PWN, Warszawa

Boss J., Tukiendorf M., 2000. Mieszanie i segregacja na przykładzie dwóch wybranych metod ujednorodniania materiałów ziarnistych. *Zesz. Nauk. Pol. Opolskiej*, nr 254, *Mechanika*, nr 60, 23-27

Campbell H., Bauer W.C., 1966. Cause and cure of demixing in solid-solid mixers. *Chem. Eng.* **73**, nr 9, 179-184

Gajda S., Ratuszny P., 2011. Zmiana jakości niejednorodnych układów ziarnistych w czasie transportu. *Przem. Chem.* **90**, nr 9, 1639-1641

Rose H.E., 1959. A suggested equation relating to the mixing of powders and its application to the study of the performance of certain types of machine. *Trans. Inst. Chem. Engrs.* **37**, 47

Stręk F., 1981. *Mieszanie i mieszalniki*. WNT, Warszawa

Williams C., 1976. The segregation of particulate materials. A review. *Pow. Tech.*, **15**, 245-251. DOI: 10.1016/0032-5910(76)80053-8