

Krzystian MALEK, Karolina SKOCZKOWSKA, Roman ULBRICH

e-mail: krystian.malek@onet.eu

Katedra Inżynierii Środowiska, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Wpływ elementów zaburzających na rozkład złoża w aparacie bębnowym

Wstęp

Aparaty bębnowe mają szerokie zastosowanie w przemyśle, m.in. w produkcji cementu, mieszanek paszowych, leków, przesiewaniu kruszyw. Budowa aparatów zależy od procesu produkcyjnego. Cechą wspólną jest zasada działania oparta na ruchu obrotowym bębna, który wymusza ruch wypełnienia. [Heim i in., 1999]

Suszarki bębnowe opierają swe działanie na konwekcji i niskie koszty jednostkowe w przypadku dużych partii materiałów najczęściej wykorzystywane są w przemyśle rolno-spożywcym – do suszenia m.in. ziaren zbóż, w gospodarce odpadami – do suszenia osadów ściekowych, w przemyśle hutniczym – w celu zredukowania tlenków rudy oraz wypalania wapnia, a także przemyśle farmaceutycznym i chemicznym. [Strumillo, 1983; Boruch, 1996; Bancelos i in., 2009; Rayko i Iliyan, 2013]

Suszarki bębnowe opierają swe działanie na konwekcji i przewodzeniu ciepła. Materiał po wyniesieniu na odpowiednią wysokość opada do strumienia gorącego powietrza, które przepływa przez bęben we współ- lub przeciwwądrze, a następnie opada na zwarte złożo. Taki ruch złoża wpływa nie tylko na szybkość usuwania wilgoci, ale również na wzajemne mieszanie cząstek. [Boruch, 1996]

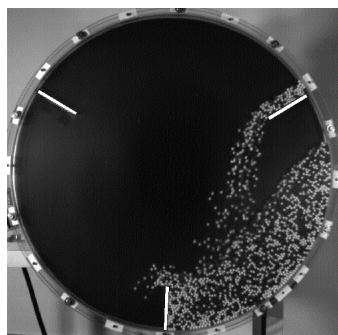
W celu zwiększenia intensywności procesów zachodzących w aparatach bębnowych stosuje się listwy zaburzające mające na celu wynoszenie materiału suszonego na większą wysokość, przy niższych prędkościach obrotowych bębna oraz rozłożenia opadających cząstek w możliwie największej objętości bębna. Dzięki temu materiał nie ulega rozpadowi, a proces suszenia zachodzi z większą intensywnością. [Arruda i in., 2009]

Przeprowadzone badania miały na celu określenie ruchu wypełnienia w aparacie bębnowym zaopatrzonym w jedną, dwie oraz trzy listwy wynoszące oraz określenie wpływu elementów zaburzających na stopień rozluźnienia złoża.

Badania doświadczalne

Stanowisko. Badania zostały przeprowadzone na stanowisku wyposażonym w obrotowy bęben o średnicy 700 mm i szerokości 30 mm, napędzany silnikiem elektrycznym z falownikiem. W celu zbadania wpływu elementów zaburzających na rozluźnienie złoża w aparacie bębnowym przeprowadzono trzy serie badań dla aparatu bez przegrody, z jedną oraz trzema przegrodami rozmieszczonymi osiowo na obwodzie bębna. Elementy zaburzające wykonano z tworzywa sztucznego, a ich długość wynosiła 100 mm (Rys. 1)

Materiały. Wypełnienie stanowiła mieszanina cząstek w proporcji 1:1, wykonanych z tworzywa sztucznego, o kształcie kulistym i średnicy 6 mm. Właściwości użytych materiałów przedstawiono w tab. 1. Stopień wypełnienia bębna wynosił 20%.



Rys. 1. Schemat zamontowania listew wynoszących dla prędkości 10 obr/min

Tab. 1. Właściwości materiałów użytych do badań

Kolor cząstek	Gęstość nasypowa [kg/m ³]	Naturalny kąt zsypania materiału [°]	Współczynnik tarcia [-]
zielony	1450	32	0,63
biały	1250	31	0,60

Współczynnik tarcia badanych materiałów został wyznaczony na podstawie naturalnego, zewnętrznego kąta zsypania materiału

$$f = \tan \beta, \quad (1)$$

gdzie: β – naturalny kąt zsypania materiału, [%].

Metodyka. Ruch wypełnienia rejestrowano przy użyciu aparatu fotograficznego Canon EOS 400D oraz szybkiej monochromatycznej kamery cyfrowej CMOS HCC-1000/1024S połączonej z komputerem. Zarejestrowane mapy bitowe zostały przetworzone w programie DPIV (Digital Particle Image Velocimetry) w celu określenia rozkładu pól prędkości cząstek, a następnie trajektorii ruchu wypełnienia podczas obrotów aparatu bębnowego.

Cyfrowa anemometria obrazowa opiera się na zmianach położenia pikseli na zarejestrowanych obrazach. Stosując odpowiednią korelację wyznacza się przesunięcie poszczególnych cząstek biorąc pod uwagę odcienie szarości ich obrazów. Znając czas rejestracji kolejnych map bitowych można określić prędkość ruchu cząstek. Zastosowana metoda umożliwia otrzymanie lokalnych pól prędkości oraz trajektorii ruchu poszczególnych cząstek. [Sucheck i in., 2003; Zajac i Ulbrich, 2015]

Badania przeprowadzono przy prędkości obrotowej bębna zmiennej się w zakresie 10÷80 obr/min, co 10 obr/min oraz dla charakterystycznych stanów zachowania się złoża.

Stopień rozluźnienia złoża określano na podstawie powierzchni zajmowanej przez złożo rozluźnione na obrazach uzyskanych za pomocą szybkiej kamery. Nie zauważono przemieszczania się cząstek wzdłuż osi bębna, więc przyjęto, że jest to powierzchnia reprezentatywna. Stopień rozluźnienia złoża wyrażano w procentach objętości bębna.

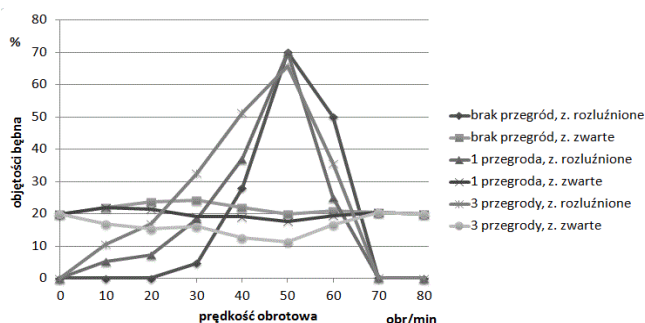
Współczynnik tarcia badanych materiałów został wyznaczony na podstawie naturalnego, zewnętrznego kąta zsypania materiału:

$$f = \tan \beta, \quad (1)$$

gdzie: β – naturalny kąt zsypania materiału, [%].

Wyniki i ich analiza

Na rys. 2 przedstawiono stopień rozluźnienia złoża oraz objętość zajmowaną przez złożo zwarte uwzględniając ilość zamontowanych przegród w aparacie bębnowym.

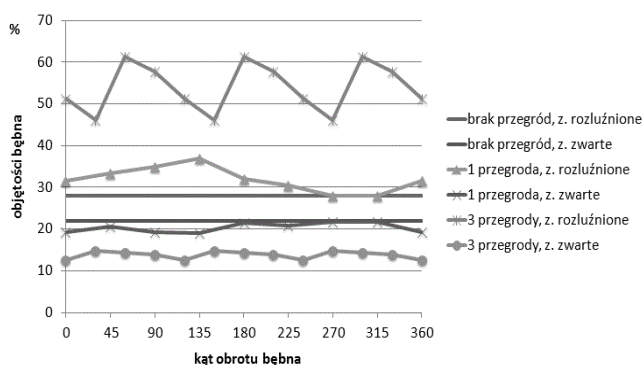


Rys. 2. Porównanie objętości złoża luźnego i zwartego dla bębna bez przegród, z 1 przegrodą i 3 przegrodami, przy różnych prędkościach obrotowych

Analizę przeprowadzono dla kąta obrotu bębna o 135° dla aparatu z jedną przegrodą oraz kąta 240° przy zastosowaniu trzech przegród. Zerowy kąt obrotu bębna przyjęto dla ustawienia przegrody w dolnej części aparatu w pozycji pionowej. Maksymalny stopień rozluźnienia złoża występował przy prędkości obrotowej 50 obr./min. Dla bębna bez i z jedną przegrodą wynosił on 70%, zaś dla bębna z trzema przegrodami 65%.

Porównując trzy zbadane warianty stwierdzono, że najbardziej korzystnym z punktu widzenia procesu suszenia jest wariant z trzema przegrodami. Pozwala on na obniżenie prędkości pracy aparatu przy zachowaniu wysokiego stopnia rozluźnienia złoża. Analizując objętość wypełnienia stwierdzono, że również najkorzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie trzech przegród ze względu na najmniejszy jego udział w bębnie. Przy prędkości 50 obr./min prawie 50% wypełnienia było rozluźnione.

Na rys. 3 porównano objętości zajmowane przez złożo rozluźnione oraz złożo zwarte przy prędkości 40 obr./min.

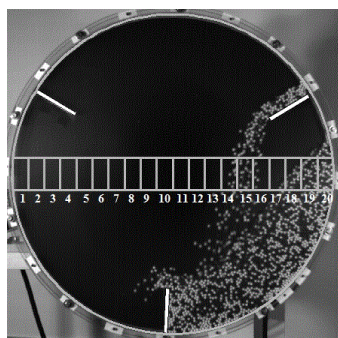


Rys. 3. Porównanie objętości zajmowanej przez złożo przy prędkości 40 obr./min dla bębna bez przegród, z 1 przegrodą i 3 przegrodami dla jednego pełnego obrotu bębna

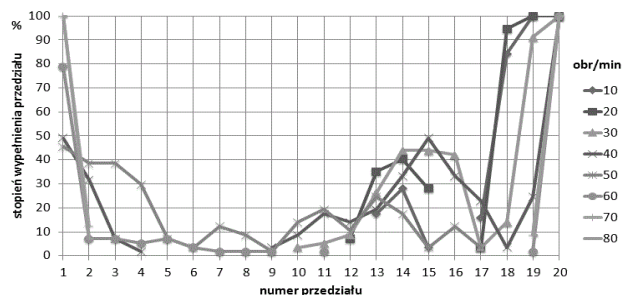
Złożo w aparacie bez przegród charakteryzowało się stałym stopniem rozluźnienia złoża na poziomie 28%. Zastosowanie jednej przegrody powodowało cykliczne wzrosty i spadki rozluźnienia złoża, przy czym jeden cykl odpowiadał jednemu pełnemu obrotowi bębna. Przy zastosowanie pojedynczej listwy zauważono brak jej wpływu na złożo przy kącie obrotu między 270° a 315° . Zastosowanie trzech elementów zaburzających powodowało cykliczne wzrosty stopnia rozluźnienia złoża, co sprawiało, że objętość bębna była efektywniej wykorzystana w dłuższym czasie.

W celu określenia rozkładu cząstek w bębnie z trzema przegrodami przy różnych prędkościach obrotowych zbadano stopień wypełnienia 20 reprezentatywnych przedziałów znajdujących się w osi bębna (Rys. 4). Obrazy analizowano przy ustawieniu przegrody w dolnej części aparatu w pozycji pionowej.

Na rys. 5 przedstawiono rozkład cząstek w osi bębna przy zastosowaniu 3 przegród dla prędkości z zakresu 10÷80 obr./min. Z punktu widzenia większości procesów pożądanym jest stan, w którym w jak największej liczbie przedziałów obserwowany jest średni stopień wypełnienia (złożo rozluźnione). Stan ten odpowiada prędkości od 30 do 50 obr./min.



Rys. 4. Przedziały wyznaczone w osi bębna



Rys. 5. Rozkład cząstek w osi bębna dla aparatu z 3 przegrodami przy prędkościach 10 – 80 obr./min w odniesieniu do stopnia wypełnienia komórki obliczeniowej [badania własne; Kukul, 2015]

Rozkład cząstek w osi bębna poza intensywnością zachodzących procesów może określać stopień rozluźnienia złoża przy zmianach prędkości obrotowej. Można to zaobserwować porównując rys. 2 z rys. 5, gdzie stopień rozluźnienia złoża oraz intensywność procesu wzrasta aż do prędkości 50 obr./min, a następnie spada.

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły określić wpływ elementów zaburzających na stopień rozluźnienia złoża w aparacie bębnowym. Zastosowanie przegród zaburzających ruch powodowało cykliczne przesypywanie się cząstek oraz cykliczne rozluźnienie złoża.

Niezależnie od liczby zastosowanych przegród największy stopień rozluźnienia złoża występował przy prędkości 50 obr./min.

Maksymalny stopień rozluźnienia złoża (70% objętości bębna) stwierdzono przy prędkości 50 obr./min w aparacie bębnowym bez przegród oraz z jedną przegrodą.

Jednak z punktu widzenia procesu suszenia korzystne jest zastosowanie trzech przegród pozwalających przy niższych prędkościach obrotowych aparatu uzyskać zadowalający stopień rozluźnienia.

Analiza rozkładu cząstek w bębnie pozwala określić orientacyjny stopień rozluźnienia złoża w bębnie oraz określa jego tendencję przy zmianach prędkości obrotowych.

LITERATURA

- Arruda E. B., Lobato F. S., Assis A. J., Barrozo M. A. S., 2009. Modeling of fertilizer drying in roto-aerated and conventional rotary dryers. *Drying Technology*, **27**, 1192–1198. DOI: 10.1080/07373930903263129
- Bacelos M. S., Jesus C. D. F., Freire J. T., 2009. Modeling and drying of carton packaging waste in a rotary dryer. *Drying Technology*, **27**, 927–937. DOI: 10.1080/07373930902901695
- Boruch M., Nowakowska K., 1996. *Technologia spożywczych suszów ziemniaczanych*. Łódź, 9-17, 58-84
- Heim A., Gluba T., Obraniak A., 1999. *Badania momentu obrotowego podczas granulacji bębnowej*. XXXVI Seminarium Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, 49-62 (10.2015) <http://www.minproc.pwr.wroc.pl/journal/pdf/1999%20sem/str49-62.pdf>
- Kukul Ł., 2015. *Wpływ elementów intensyfikujących ruch na proces mieszania w aparacie bębnowym*. Praca magisterska. Politechnika Opolska, Opole
- Strumiłło Cz., 1983. *Podstawy teorii i techniki suszenia*. WNT, Warszawa
- Suchecki W., Alabrudziński S., Kowalewski T., 2003. Metoda analizy pola prędkości z uwzględnieniem istnienia dużych obiektów w przepływie. *Inż. Ap. Chem.*, **42**, nr 5, 6-13
- Rayko S., Iliyan M., 2013. Experimental approaches and measuring instruments for investigation of transport phenomena in rotary kilns. *Adv. Nat. Sci. Theory Appl.*, **2**, 1, 39-53. DOI: 10.12732/ansta.v2i1.5
- Zając D., Ulbrich R., 2005. *Nieinwazyjne metody badań przepływów dwufazowych gaz-ciecz*. Wyd. Pol. Opolskiej, Opole

