

WŁODZIMIERZ CIESIELCZYK
ANITA KAMIŃSKA

Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Krakowska, Kraków

Efektywna fluidyzacja wybranych rodzajów rozdrobnionej biomasy

Wprowadzenie

Aktualne kłopoty z tradycyjnymi surowcami energetycznymi i obowiązujące wytyczne Unii Europejskiej dotyczące odnawialnych źródeł energii zmuszają do podjęcia działań w zakresie kompleksowego zagospodarowania biomasy. Jest to problem ważny zarówno z uwagi na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego, ochronę środowiska oraz zapewnienie zrównoważonego rozwoju.

Ważnym etapem przy przetwarzaniu (np. peletyzacja, brykietowanie) biomasy pozyskiwanej z lasów, rolnictwa, przemysłu drzewnego, upraw energetycznych oraz zakładów zieleni miejskiej na cele energetyczne jest suszenie surowca. Biorąc pod uwagę koszty produkcji należy poszukiwać metody stosunkowo taniej, minimalizującej zużycie energii. Suszenie w układzie fluidalnym charakteryzuje się korzystnymi wskaźnikami techniczno-ekonomicznymi i zapewnia uzyskanie oczekiwanej jakości otrzymywanych produktów.

Istotnym elementem konstrukcyjnym tego typu aparatów, zwłaszcza w przypadku suszenia biomasy, jest właściwa geometria dystrybutora gazu [1–8]. Optymalny dystrybutor gazu powinien charakteryzować się prostą, wytrzymałą mechanicznie i termicznie konstrukcją, zapewniającą eliminację martwych stref złoża i powodującą intensywne, równomiernie rozłożone w przekroju poprzecznym warunki hydrodynamiczne warstwy.

Wynikiem interakcji układów gaz – ciało stałe z kształtem aparatów fluidyzacyjnych i sposobem dystrybucji gazu jest występowanie modyfikacji klasycznego złoża fluidalnego, takich jak: złożo fontannowe, wirowe, pulsofluidalne czy wibrofluidalne. Klasyczne złożo fluidalne stanowi układ dwufazowy i tworzy strukturę heterogeniczną. W trakcie przebiegu procesu w układzie gaz – ciało stałe, kiedy często mamy do czynienia ze złożem polidispersyjnym i różnorodnym kształtem cząstek, mogą występować zjawiska aglomeracji, elektryzacji, intensywnego ścierania, pylenia, bądź pęknięcia cząstek materiału fluidyzującego. Zjawiska te powodują zmianę warunków hydrodynamicznych w układzie, zmianę powierzchni kontaktu międzyfazowego, a czasami wręcz uniemożliwiają uzyskanie warstwy fluidalnej.

Struktura ładunku fluidalnego i charakter jej zmian są szczególnie ważne dla prawidłowej organizacji suszenia biomasy. Duża różnorodność np. odpadów drzewnych, a tym samym różne ich właściwości fizykochemiczne, strukturalno-mechaniczne czy też sorpcyjne i częste przypadki pozyskiwania mieszanin różnych gatunków biomasy skłaniają do podjęcia analizy teoretycznej i badań eksperymentalnych dotyczących możliwości uzyskania efektywnej fluidyzacji tych substancji.

Pomimo bogatej literatury dotyczącej tematu [1–13] brak dotychczas jednoznacznych, uniwersalnych wytycznych odnośnie metody doboru odpowiedniego dystrybutora gazu dla konkretnego materiału suszonego. Dlatego też aktualne jest zagadnienie, będące przedmiotem niniejszego opracowania, poszukiwania konstrukcji efektywnego dystrybutora gazu zapewniającego skuteczne warunki suszenia fluidalnego rozdrobnionej biomasy.

Opis efektywnego dystrybutora gazu

Jednym z celów kompleksowych badań suszenia ciał stałych w układach fluidalnych realizowanych w *Instytucie Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Krakowskiej* [12] było opracowanie konstrukcji suszarki fluidyzacyjnej, pozwalającej na efektywne suszenia biomasy o różnorodnych właściwościach jakościowych i ilościowych.

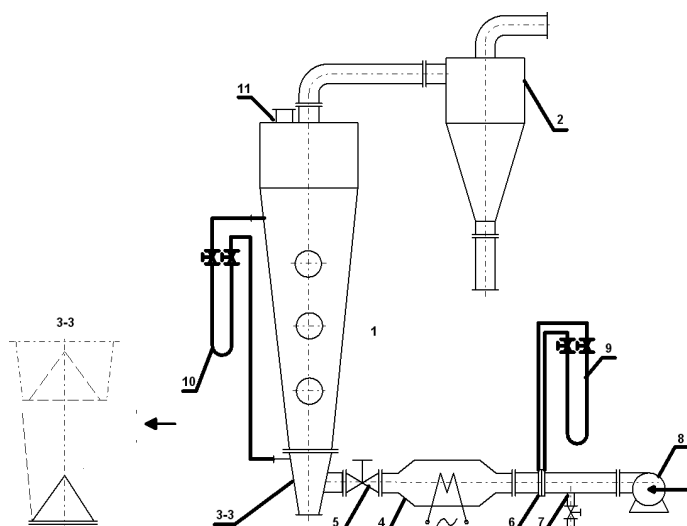
Najistotniejszym zagadnieniem technicznym okazało się opracowanie geometrii dystrybutora gazu, przy założeniu maksymalnej prostoty konstrukcji i eliminacji wad występujących w dotychczas stosowanych rozwiązaniach.

Efektom pracy jest suszarka fluidyzacyjna [10], której schemat przedstawiono na rys. 1. Komora suszenia (1) aparatu ma kształt stożkowy o kącie rozwarcia 13°. Na styku komory suszenia i komory dystrybutora umieszczony jest specjalny ruszt – 3-3 ze stożkiem. Pole powierzchni bocznej stożka rusztu równe jest połowie dolnej powierzchni przekroju poprzecznego komory suszenia. Stożek – podobnie jak powierzchnia pozioma rusztu – wykonany jest z blachy perforowanej lub dwu warstw siatki o odpowiednio dobranych powierzchniach prześwitu [11]. Przewód doprowadzający czynnik fluidyzujący umieszczony jest w komorze dystrybutora – 3-3, w osi aparatu, w ten sposób, że otwór wylotowy zwrócony jest w kierunku podstawy suszarki.

Fluidyzacja biomateriałów

Badania możliwości fluidyzacji wybranych rodzajów rozdrobnionej biomasy prowadzi się na instalacji doświadczalnej (Rys. 1).

Powietrze będące czynnikiem fluidyzującym, tłoczone przez wentylator – 8 przepływa przez nagrzewnicę elektryczną – 4, komorę dystrybutora gazu – 3-3 do kolumny – 1 o średnicy podstawy 150 mm i wysokości 1300 mm, a następnie po przejściu przez złożo i cyklon – 2 wydostaje się na zewnątrz. W trakcie badań dotyczących określenia warunków fluidyzacji badanych substancji wymieniano korpus suszarki na element wykonany ze szkła organicznego dla umożliwienia prowadzenia obserwacji wizualnych. Oprzyrządowanie stanowi-



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – suszarka, 2 – cyklon, 3-3 – dystrybutor gazu (przekrój), 4 – nagrzewnica, 5 – zawór, 6 – zwężka, 7 – bocznik, 8 – wentylator, 9, 10 – manometry, 11 – zasyp

ska badawczego zapewnia otrzymanie danych niezbędnych do sporządzanie krzywych fluidyzacji i charakterystyki warunków procesowych suszenia.

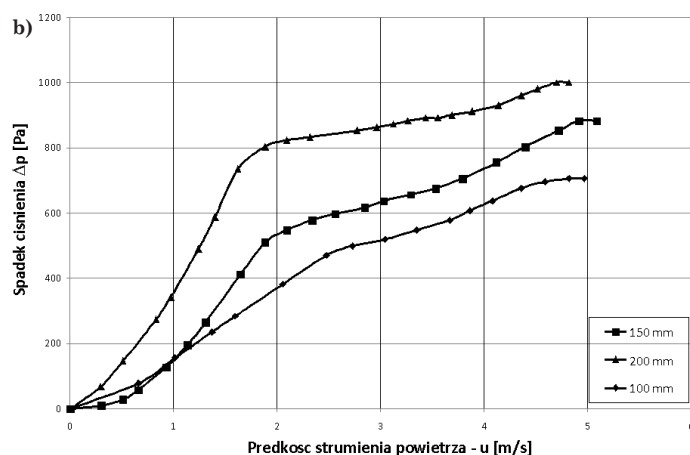
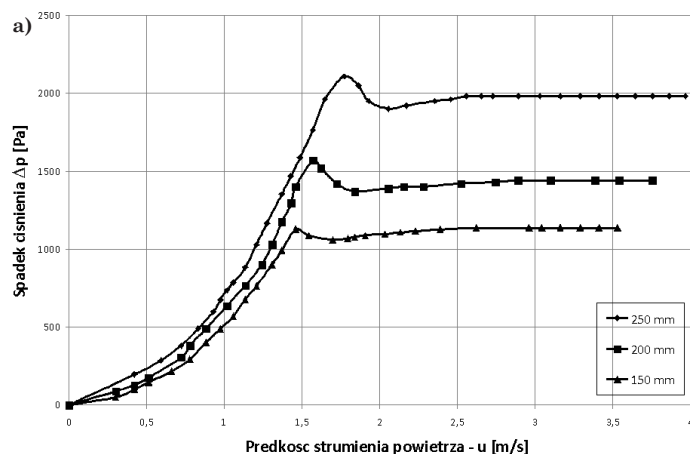
Badania prowadzono z wykorzystaniem złóż: kukurydzy (średnica zastępcza $d_z = 6,691$ mm), kawy ($d_z = 4,919$ mm), ciastek ($d_z = 14,510$ mm) o kształtach igieł (zbliżonych do kształtów ścinków drzewnych) oraz warstw polidispersyjnych zrębków: olchy (zakres średnic zastępczych $d_z = 4,100 \div 9,190$ mm), jabłoni ($d_z = 2,950 \div 8,987$ mm) pozyskanych z przycinek pielęgnacyjnych w sadach i na terenach zielonych miast, a także mieszanych (drzewa iglaste i liściaste) odpadów otrzymywanych w tartaku ($d_z = 2,180 \div 11,340$ mm).

Hydrodynamikę badanych układów określano wyznaczając – między innymi – krzywe fluidyzacji. Na rys. 2 przedstawiono przykładowo takie krzywe dla ziaren kukurydzy (2a) i zrębków olchy (2b).

Stwierdzono możliwość uzyskania złoża fluidalnego dla wszystkich badanych materiałów [12]. Jakość fluidyzacji jest zadowalająca przy liczbach fluidyzacji rzędu 2-3, a pylenie ograniczone do minimum. Zawartość wilgoci materiałów badanych zawierała się w granicach od 4 do 30%.

Podsumowanie

- Zastosowanie specjalnego rusztu i odpowiednio ukształtowanego dystrybutora zapewnia intensywne warunki hydrodynamiczne w złożu, uzyskanie warstwy materiału o właściwościach pośrednich pomiędzy klasycznym złożem fluidalnym, złożem fontannowym i wirowym, a tym samym efektywną fluidyzację wszystkich badanych rodzajów biomasy.
- Jak stwierdzono w trakcie badań testowych korzyści techniczne wynikające z zastosowania proponowanego rozwiązania to: intensyfikacja procesu fluidyzacji biomasy, ograniczenie pylenia (maksymalnie 4% masy złoża w przeliczeniu na materiał suchy) z jednoczesną możliwością zwiększenia natężenia przepływu czynnika fluidyzującego, duża uniwersalność.



Rys. 2. Krzywe fluidyzacji dla: a) kukurydzy, b) zrębków olchy przy różnej wysokości statycznej warstwy

- Należy podkreślić, że stosunek spadków ciśnień na dystrybutorze i złożu wahał się (w zależności od właściwości badanego materiału) w zakresie od 0,1 do 0,2.

LITERATURA

1. A. S. Mujumdar: Handbook of industrial drying, New York, Marcel Dekker, 1995.
2. J. F. Davidson, R. Clift., D. Harrison: Fluidization, London, Academic Press, 1985.
3. C.K. Gupta, D. Sathymoorthy: Fluid bed technology in materials processing, London, CRC Press, 1999.
4. C. Strumillo: Podstawy teorii i techniki suszenia, Warszawa, WNT, 1983.
5. A. Kmiec, S. Englart, A. Ludwińska: Teoria i technika fluidyzacji, Wrocław, Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej, 2007.
6. D. Kunii, O. Levenspiel: Fluidization engineering, Boston, Butterworth-Heinemann, 1991.
7. R. B. Keey: Drying principles and practice, Oxford, Pergamon Press, 1972.
8. D. Geldart: 1973, Powder Technology, 7, 285 (1973).
9. W. Ciesielczyk, M. Mrowiec: Inż. i Ap. Chem. 20, nr 5, 12 (1981).
10. M. Mrowiec, W. Ciesielczyk: Int. Chem. Eng. 17, nr 2, 373 (1977).
11. W. Ciesielczyk, M. Mrowiec: Opis pat. Nr 122 611, Int Cl. F26B 17/10.
12. U. Gruma: Prace magisterska, Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2008.
13. M. Wormsbecker, T. Pugsley, H. Tanfara: Chem. Eng. Sci. 64, 1739 (2009).