

Anita KAMIŃSKA, Włodzimirz CIESIELCZYK

e-mail: wlodek@indy.chemia.pk.edu.pl

Katedra Reaktorów Chemicznych i Kinetyki Ruchu Masy, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska, Kraków

Konstrukcja dystrybutora gazu, a efektywność suszenia fluidalnego wybranych rodzajów rozdrobnionej biomasy

Wstęp

Suszenie biomasy w układach fluidalnych zajmuje ważną pozycję wśród nowoczesnych metod suszarniczych [Kudra i Strumillo, 1998]. Suszarki fluidyzacyjne są obiektem znacznego zainteresowania z uwagi na swoje zalety takie jak: wysoka intensywność ruchu ciepła i masy, korzystne warunki hydrodynamiczne, zwarta konstrukcja, duża wydajność, możliwość dokładnej kontroli parametrów pracy oraz stosunkowo niskie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Dotychczas stosowane i znane suszarki fluidyzacyjne to najczęściej aparaty z komorą suszenia o stałym lub zwiększającym się wraz z wysokością poprzecznym przekroju o kształcie kołowym, względnie prostokątnym [Mujumdar, 1995].

Istotnym elementem konstrukcyjnym aparatu, zwłaszcza w przypadku suszenia biomasy, jest właściwa geometria dystrybutora gazu [Ciesielczyk, 2009]. 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. Dystrybutory gazu suszarek fluidyzacyjnych zasadniczo wpływają na sposób rozprzodzenia gazu, a tym samym na strukturę hydrodynamiczną w warstwie i jakość suszenia.

Struktura ładunku fluidalnego i charakter jej zmian są istotne dla prawidłowej organizacji suszenia rozdrobnionej biomasy, szczególnie testowanych zrębków drzewnych. Fluidyzacja tych materiałów w klasycznych aparatach jest praktycznie niemożliwa.

Jednym z celów kompleksowych badań suszenia ciał stałych realizowanych w Instytucie Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Krakowskiej [Ciesielczyk i Kamińska, 2009] było opracowanie konstrukcji suszarki fluidyzacyjnej, pozwalającej na efektywne suszenia biomasy o różnorodnych właściwościach fizykochemicznych, strukturalno-mechanicznych, czy sorpcyjnych. Jak się okazało w trakcie badań, najistotniejszym zagadnieniem technicznym było zaprojektowanie geometrii dystrybutora gazu, przy założeniu maksymalnej prostoty konstrukcji i eliminacji wad występujących w dotychczas stosowanych rozwiązaniach.

Odpady zrębkowe pozyskiwane zarówno z zakładów pielęgnacji zieleni miejskiej, jak i z lasów mogą charakteryzować się dużą wilgotnością (do 60%). W przypadku biomasy zawartość wilgoci jest kluczowa dla oceny jej potencjału energetycznego, dlatego też ważnym etapem przetwarzania biomasy do celów energetycznych jest suszenie pozyskanego surowca. Biorąc pod uwagę koszty produkcji należy poszukiwać metody taniej. Takie oczekiwanie może spełniać suszenie w układzie fluidalnym. Warunkiem koniecznym jest uzyskanie efektywnej warstwy fluidalnej testowanych materiałów. Ten etap badań jest przedmiotem niniejszej pracy.

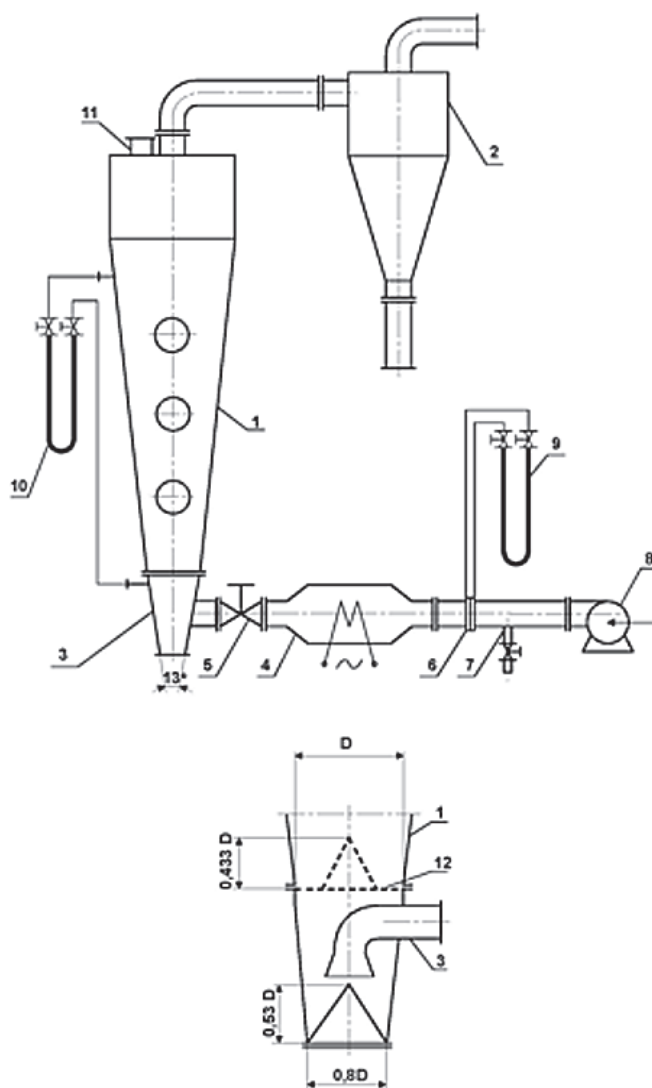
Badania testowe

Stanowisko badawcze

Badania możliwości fluidyzacji wybranych rodzajów rozdrobnionej biomasy prowadzi się w instalacji doświadczalnej, której schemat przedstawiono na rys. 1. Powietrze będące czynnikiem fluidyzującym, tłoczone przez wentylator – 8 przepływa przez nagrzewnicę elektryczną – 4, komorę dystrybutora gazu – 3 do kolumny – 1 o średnicy podstawy $D = 150$ mm, wysokości 1300 mm i kącie rozwarcia 13° , a następnie po

przejściu przez złożę 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.

Oprządkowanie stanowiska badawczego zapewnia otrzymanie danych niezbędnych do sporządzenia charakterystyk procesowych. W trakcie badań istniała możliwość określenia intensywności pylenia (wywiewania) przez pomiar wysokości warstwy materiału zebranego w odbieralniku cyklonu – 2. Zawartość wilgoci w materiale wyznaczano metodą bezpośrednią, susząc pobrane próbki do stałej masy w suszarce laboratoryjnej.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – suszarka, 2 – cyklon, 3 – dystrybutor gazu, 4 – nagrzewnica, 5 – zawór, 6 – zwężka, 7 – bocznik, 8 – wentylator, 9, 10 – manometry, 11 – zasyp, 12 – ruszt

Poszukując konstrukcji dystrybutora gazu zapewniającego efektywną fluidyzację testowanych materiałów postanowiono w pierwszym etapie zmieniać kształt powierzchni rusztu – 12 (Rys. 1b). Najlepsze resulta-

ty osiągnięto przy zastosowaniu rusztu ze stożkiem. Pole powierzchni bocznej stożka rusztu równe jest połowie dolnej powierzchni przekroju poprzecznego komory suszenia. Stożek – podobnie jak powierzchnia pozioma rusztu – wykonane są z blachy perforowanej. Przewód doprowadzający czynnik fluidyzujący umieszczony jest w komorze dystrybutora – 3 w osi aparatu, w ten sposób, że otwór wylotowy zwrócony jest w kierunku płaskiej podstawy suszarki (A1).

W kolejnym etapie pracy stwierdzono, że dodatkowe ukształtowanie podstawy komory dystrybutora w formie stożka (Rys. 1b) znacznie intensyfikuje proces fluidyzacji [Ciesielczyk i in., 2011] (A2). Hydrodynamikę badanych układów określano wyznaczając krzywe fluidyzacji. Jednocześnie prowadzono obserwacje wizualne. Szczegóły dotyczące tej fazy badań zamieszczono w innych publikacjach [Ciesielczyk i Kamińska, 2009, Ciesielczyk, 2009].

Suszenie fluidalne rozdrobnionej biomasy

Badania testowe prowadzi się z warstwami polidispersyjnymi zrębków: olchy, jabłoni, brzozy i wierzby pozyskanych z przycinek pielęgnacyjnych w sadach i na terenach zielonych miast, a także mieszanych (drzewa iglaste i liściaste) odpadów otrzymywanych w tartaku. W tab. 1 przedstawiono podstawowe właściwości fizykochemiczne badanych materiałów. Średnią średnicę cząstek d_z warstw obliczano jako sumę iloczynów udziałów masowych i średnic zastępczych cząstek poszczególnych frakcji [Mujumdar, 1995].

Tab. 1. Właściwości fizykochemiczne testowanych substancji

Rodzaj biomasy	ρ_p [kg/m ³] gęstość	ε_0 [-] porowatość	d_z [mm] średnica zastępcza	X [%] zawartość wilgoci
Wierzba – zrębki	1003	0,626	5,890	12,0
Odpad z tartaku	845	0,487	6,980	38,0
Olcha – zrębki	790	0,588	9,190	11,0
Jabłoni – zrębki	695	0,600	6,950	15,0
Brzoza – zrębki	735	0,481	7,700	21,0

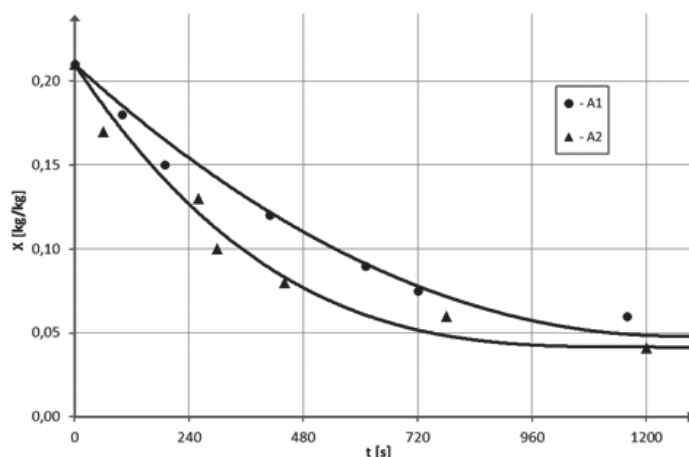
Stwierdzono możliwość uzyskania złoża fluidalnego dla wszystkich badanych materiałów. Jakość fluidyzacji jest zadowalająca, a pylenie ograniczone do minimum (maksymalnie 4% masy złoża w przeliczeniu na materiał suchy) [Ciesielczyk i Kamińska, 2009]. Dla analizowanych zrębków drzewnych uzyskuje się zadowalającą jakość procesu przy liczbach fluidyzacji rzędu 2–3 [Ciesielczyk i in., 2011].

Zastosowane dystrybutory gazu generują intensywne warunki hydrodynamiczne w badanych warstwach zapobiegając klasycznemu zakłóceniu występującym przy fluidyzacji złożów polidispersyjnych tzn. tłokowaniu i kanałowaniu przez wymuszenie wirowania. Zadowalającą jakością fluidyzacji otrzymano zarówno dla rusztu ze stożkiem (A1), jak i w przypadku dodatkowego ukształtowania podstawy komory dystrybutora gazu (A2).

W kolejnym etapie badań wyznaczano krzywe suszenia $X = f(t)$ dla analizowanych materiałów stosując rozwiązania A1 oraz A2. Wybór wartości zastosowanych w testach parametrów procesowych (szczególnie liczby fluidyzacji i wysokości początkowej złoża H_{mf}) jest wynikiem badań wstępnych [Ciesielczyk, 2005; Ciesielczyk i in., 2011], których zadaniem było określenie optymalnych warunków realizacji procesu suszenia biomasy drzewnej.

Stwierdzono, że zastosowanie konstrukcji dystrybutora gazu A2 [Ciesielczyk i in., 2012] zapewnia uzyskanie najlepszych warunków suszenia dla wszystkich rodzajów analizowanych materiałów (Tab. 1).

Na rys. 2 zaprezentowano przykładową krzywą fluidyzacji dla zrębków brzozy. Z analizy przebiegu krzywych kinetycznych wynika, że rozwiązanie A2 znacznie intensyfikuje proces suszenia analizowanego



Rys. 2. Krzywe suszenia zrębków brzozy dla analizowanych rozwiązań dystrybutora gazu; wysokość statyczna warstwy $H_{mf} = 0,15$ m, liczba fluidyzacji 2,5, temperatura wlotowa powietrza 333 K (Badania własne)

materiału. Podobny przebieg procesu suszenia zaobserwowano dla wszystkich analizowanych materiałów.

Najprawdopodobniej w przypadku dystrybutora A2 skutek skomplikowanego kształtu ziaren zrębków drzewnych (współczynnik kształtu zawarty jest w zakresie 1,598÷1,788) punkty przyłożenia siły podnoszenia nie odpowiadają środkom ich ciężkości. W wyniku elementy złoża wprawiane są w ruch obrotowy, a równocześnie zachodzi ich orientacja w kierunku przepływu strumienia gazu sterowanego przez stożek usytuowany w komorze dystrybutora A2, co wywołuje cykliczny, intensywny ruch cząstek w całej objętości ładunku.

Wnioski

Realizacja procesu fluidyzacji i jego efektywność w znacznym stopniu uzależnione są od elementu rozdzielającego gaz.

Zastosowanie oryginalnego rozwiązania konstrukcyjnego dystrybutora gazu A2 zapewnia intensywne warunki hydrodynamiczne w złożu, uzyskanie warstwy materiału o właściwościach pośrednich pomiędzy klasycznym złożem fluidalnym, złożem fontannowym i wirowym, a tym samym efektywne suszenie analizowanych rodzajów biomasy drzewnej.

Zaproponowana i testowana konstrukcja dystrybutora gazu A2 jest chroniona Wzorem Użytkowym nr 65937.

Badania testowe są kontynuowane i obejmują szeroki zakres zmian parametrów procesowych i rodzajów materiałów suszonych.

LITERATURA

- Ciesielczyk W., 2005. Batch drying kinetics in a two zone bubbling fluidized bed. *Drying Technology*, **23**, nr 8, 1613-1640. DOI: 10.1081/DRT-200065013
- Ciesielczyk W., Kamińska A., 2009. Efektywna fluidyzacja wybranych rodzajów rozdrobnionej biomasy. *Inż. Ap. Chem.*, **48**, nr 6, 36-37
- Ciesielczyk W., 2009. Novel gas distributor for fluidized bed drying of biomass. *Drying Technology*, **27**, nr 12, 1309-1315. DOI: 10.1080/07373930903383612
- Ciesielczyk W., Kamińska A., Skoneczna J., 2011. Badania procesu suszenia fluidalnego rozdrobnionej biomasy drzewnej. *Inż. Ap. Chem.*, **50**, nr 5, 26-77
- Ciesielczyk W., Kamińska A., Skoneczna J., 2012. *Suszarka fluidyzacyjna do suszenia materiałów polidispersyjnych, zwłaszcza rozdrobnionej biomasy. Wzór Użytkowy nr 65937*
- Kudra T., Strumiłło C., 1998. *Thermal processing of biomaterials*. Gordon & Breach Science Publishers, New York
- Mujumdar A.S., 1995. *Handbook of industrial drying*. Marcel Dekker, New York
- Praca jest finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy nr N N209 105739.**