

Włodzimierz CIESIELCZYK, Anita KAMIŃSKA, Joanna SKONECZNA

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

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

Badania procesu suszenia fluidalnego rozdrobnionej biomasy drzewnej

Wstęp

Biomasa drzewna (szczapy, zrębki, trociny, ścinki) znajduje się w dostatecznej ilości na terenie całej Polski i staje się bardzo pożądanym surowcem energetycznym, co jest zgodne z wytycznymi Unii Europejskiej [1–5]. Cele przyjętego w 2008 r. pakietu energetyczno – klimatycznego 3×20 zobowiązują do obniżenia emisji CO_2 o 20%, ograniczenia zużycia energii o 20% oraz wytwarzania 20% energii ze źródeł odnawialnych.

Biomasa drzewna może okazać się kluczem do rozwiązania problemu: jak pogodzić zwiększające się zapotrzebowanie na energię z koniecznością zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych [4]. W skali lokalnej ważnym źródłem biomasy może być surowiec pozyskiwany z przecinek leśnych i cięć pielęgnacyjnych na terenach zielonych i w sadach. Duże znaczenie może mieć biomasa z upraw celowych (rośliny energetyczne).

Zarówno biomasa z plantacji energetycznych jak i odpady pochodzenia roślinnego mogą być wykorzystane poprzez spalanie w kotłach [6]. Aby jednak proces spalania był ekonomicznie i energetycznie atrakcyjny należy zieloną biomasę o wysokiej wilgotności (może wynosić do 60%) przed spaleniem wysuszyć, aby podwyższyć jej wartość opałową. Dlatego też ważnym etapem przy produkcji i przetwarzaniu (granulacja) biomasy dla celów energetycznych jest suszenie pozyskanego produktu przy minimalizacji kosztów tego procesu.

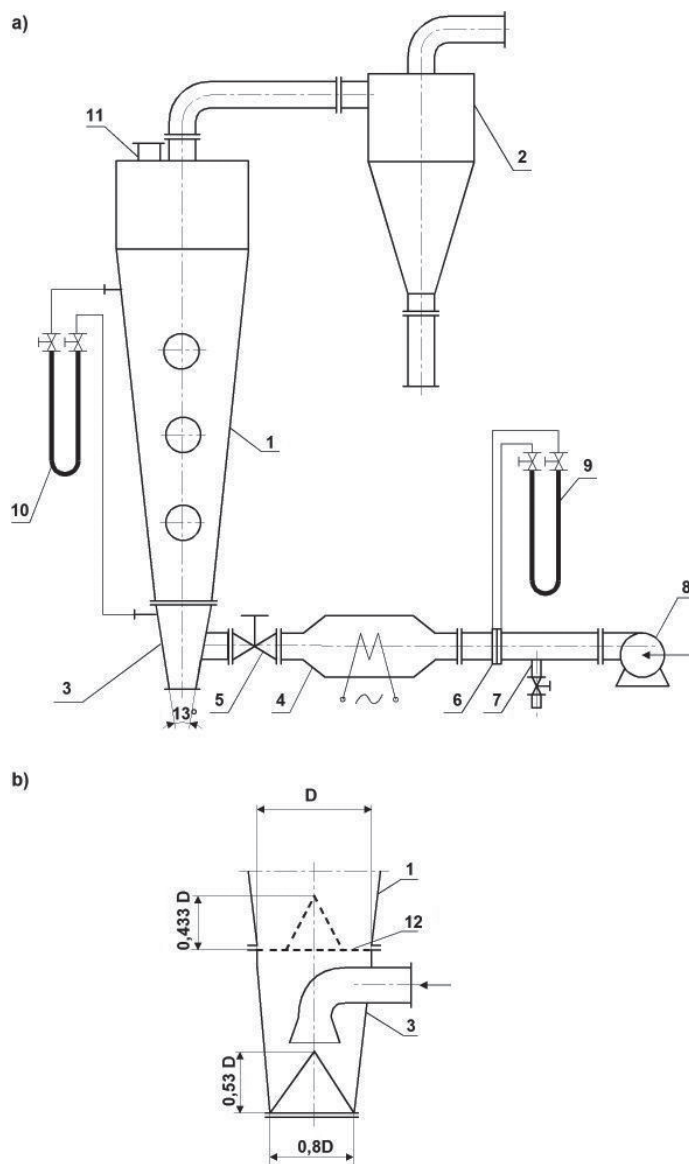
Suszenie w układzie fluidalnym charakteryzuje się korzystnymi wskaźnikami techniczno-ekonomicznymi i zapewnia uzyskanie oczekiwanej jakości otrzymywanych produktów [1, 8].

Dlatego też aktualne jest zagadnienie, będące przedmiotem niniejszego opracowania, poszukiwania sposobu zapewniającego skuteczne warunki suszenia fluidalnego rozdrobnionej biomasy drzewnej. Skuteczna fluidyzacja powinna zapewnić uzyskanie łatwej do kontrolowania warstwy fluidalnej, wysoki współczynnik sprawności energetycznej przez efektywne wykorzystanie gazu oraz minimalizację pylenia i wszelkich zakłóceń procesu.

Instalacja badawcza

Badania możliwości fluidyzacji wybranych rodzajów rozdrobnionej biomasy prowadzi się na 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. Oprzyrządowanie stanowiska badawczego zapewnia otrzymanie danych niezbędnych do sporządzenia charakterystyk procesowych. Zestaw zwęzek – 6 wraz z zaworami – 5, umożliwi płynną regulację i pomiar natężenia przepływu doprowadzanego gazu. Spadki ciśnienia mierzono dwuramiennymi manometrami cieczowymi – 10 oraz przyrządem TESTO 452 (Testoterm GmbH & Co.) wyposażonym w odpowiednią przystawkę. Temperatury gazu i złoża mierzone były termoparami miedz – konstantan. Zawartość wilgoci w materiale wyznaczano metodą bezpośrednią, susząc pobrane próbki do stałej masy w suszarce laboratoryjnej. W trakcie badań istniała możliwość określenia intensywności pylenia (wywiewania) przez pomiar wysokości warstwy materiału zebranego w odbieralniku cyklonu – 2.



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

Jak się okazało w trakcie badań wstępnych, najistotniejszym zagadnieniem technicznym było opracowanie odpowiedniej geometrii dystrybutora gazu bowiem fluidyzacja testowanych materiałów przy klasycznym dystrybutorze [8] jest praktycznie niemożliwa. Należy podkreślić, że brak obecnie jednoznacznych, uniwersalnych wytycznych odnośnie metody doboru odpowiedniego dystrybutora gazu dla konkretnego materiału suszonego.

Istota przyjętego rozwiązania [11] polega na zainstalowaniu, na styku komory suszenia i komory dystrybutora (Rys. 1b) specjalnego ruszta – 12 ze stożkiem. Pole powierzchni bocznej stożka ruszta równe jest połowie dolnej powierzchni przekroju poprzecznego komory suszenia. Stożek – podobnie jak powierzchnia pozioma ruszta – wykonany jest 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 podstawy suszarki ukształtowanej w formie stożka.

Badania testowe

Eksperymenty prowadzi się z warstwami polidispersyjnymi zrębków: olchy, jabłoni, brzozy i wierzy 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: gęstość ρ_p , porowatość warstwy w stanie stacjonarnym ε_0 , średnicę zastępczą d_z oraz zawartość początkową wilgoci X . Porowatość złoża w stanie stacjonarnym ε_0 określano z gęstości ciała stałego i gęstości usypowej. Średnice zastępcze d_z cząstek poszczególnych frakcji badanych materiałów wyznaczano w oparciu o definicję średnicy objętościowej jako średnicę kuli o objętości badanej cząstki. Średnią średnicę cząstek warstw polidispersyjnych (zrębki drzewne) obliczano jako sumę iloczynów udziałów masowych i średnic zastępczych cząstek poszczególnych frakcji [8].

Tab. 1. Właściwości fizykochemiczne testowanych substancji

Rodzaj biomasy	Gęstość ρ_p [kg/m ³]	Porowatość ε_0 [-]	Średnica zastępcza d_z [mm]	Zawartość wilgoci X [%]
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

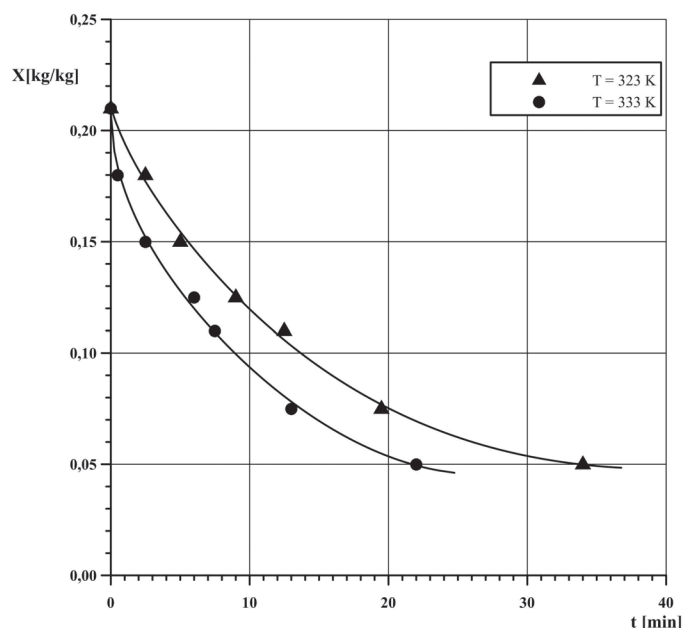
Dotychczas większość badań dotyczących fluidyzacji w układzie gaz – ciało stałe koncentrowała się na systemach małych cząstek [1, 7, 8, 12]. Ostatnio w związku – między innymi – z zainteresowaniem przetwórstwem biomasy rozszerza się te badania na fluidyzację cząstek większych. Definicja dużych cząstek nie jest zbyt ścisła. Ogólnie, gdy cząstki mają średnicę ≥ 1 mm uważa się je za duże [8].

Własne badania testowe prowadzono z cząstkami o średnicy zastępczej od 5,890 do 9,190 mm (Tab. 1). Wszystkie analizowane materiały można zaliczyć praktycznie do grupy D klasyfikacji *Geldarta* [7].

Hydrodynamikę badanych układów określano wyznaczając krzywe fluidyzacji. Zaobserwowano występowanie zjawiska histerezy w odniesieniu do wszystkich testowanych materiałów. Szczegóły dotyczące tego etapu badań zamieszczono w innych publikacjach [9, 10].

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) [10]. Dla analizowanych zrębków drzewnych uzyskuje się zadowalającą jakość procesu przy liczbach fluidyzacji rzędu 2÷3. Zastosowany dystrybutor gazu generuje intensywne warunki hydrodynamiczne w badanych warstwach zapobiegając klasycznym zakłóceniom występującym przy fluidyzacji złoża polidispersyjnych tzn. tłokowaniu i kanałowaniu przez wymuszenie wirowania. Uzyskuje się warstwy materiału o właściwościach pośrednich pomiędzy klasycznym złożem fluidalnym, złożem fontannowym i wirowym [9, 10]. Najprawdopodobniej wskutek skomplikowanego kształtu ziaren zrębków drzewnych 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, co wywołuje cykliczny ruch cząstek w całej objętości ładunku.

Na podstawie danych eksperymentalnych sporządzano krzywe suszenia (zależność zawartości wilgoci X od czasu suszenia t) testowanych



Rys. 2. Krzywa suszenia fluidalnego zrębków brzozy: wysokość statyczna warstwy $H_{mf} = 0,15$ m; liczba fluidyzacji 2,5; temperatura powietrza 323 oraz 333 K

materiałów. Na rys. 2 zaprezentowano przykładową krzywą suszenia fluidalnego zrębków brzozy otrzymaną w oparciu o dane eksperymentalne (symbole graficzne). Eksperyment realizowano przy wysokości statycznej złoża równej średnicy podstawy aparatu [9], liczbie fluidyzacji równej 2,5 [10] oraz dla temperatur powietrza wlotowego 323 i 333 K.

Wnioski

Stwierdzono możliwość efektywnego suszenia w układzie fluidalnym testowanych rodzajów biomasy drzewnej przy zastosowaniu oryginalnego rozwiązania dystrybucji gazu [11]. Fluidyzacja tych materiałów w klasycznych aparatach fluidyzacyjnych jest praktycznie niemożliwa.

Eksperymenty prowadzono z materiałami polidispersyjnymi dużych cząstek (zaliczyć je można do grupy D klasyfikacji *Geldarta*) o średnicach zastępczych w granicach od 5,890 do 9,190 mm.

Temat jest kontynuowany w kierunku opracowania konstrukcji mobilnej suszarki fluidyzacyjnej zapewniającej efektywne suszenie rozdrobnionej biomasy przy minimalizacji zapotrzebowania energii.

LITERATURA

- [1] C. Strumillo: *Drying Technol.* **24**, 9, 1059 (2006).
- [2] Z. Karwasz: *Czysta Energia* nr 7-8, 16 (2007).
- [3] M. Stolarski: *Problemy Inżynierii Rolniczej.* **46**, 1, 13 (2005).
- [4] R. Tytko: *Odnawialne źródła energii. Wybrane zagadnienia.* Deka. Kraków 2008.
- [5] W. Majtkowski: *Aeroenergetyka* **16**, 2, 28 (2006).
- [6] M. Ściążko, K. Kubica: *Karbo* **47**, 11, 325 (2002).
- [7] D. Geldart: *Powder Technol.* **7**, 5, 285 (1973).
- [8] A. S. Mujumdar: *Handbook of industrial drying.* Marcel Dekker. New York 1995.
- [9] W. Ciesielczyk: *Drying Technol.* **27**, 12, 1309 (2009).
- [10] W. Ciesielczyk, A. Kamińska: *Inż. Ap. Chem.* **48**, nr 6, 36 (2009).
- [11] W. Ciesielczyk, A. Kamińska, J. Skoneczna: *Suszarka fluidyzacyjna do suszenia materiałów polidispersyjnych, zwłaszcza rozdrobnionej biomasy. Wzór użytkowy W-118761* (2010).
- [12] M. Wormsbecker, T. Pugsley, H. Tanfara: *Chem. Eng. Sci.* **64**, 1739 (2009).

Praca jest finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy nr N N209 105739.