

Włodzimierz CIESIELCZYK, Michał JURASZ, Anita KAMIŃSKA-PĘKALA

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

Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska, Kraków

Efektywna fluidyzacja zrębków drzewnych

Wstęp

Obowiązujące wytyczne 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. Biomasa drzewna może okazać się kluczem do rozwiązania problemu: jak pogodzić zwiększające się zapotrzebowanie na energię z koniecznością zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych [Kublik i Bielecki, 2014]?

W skali lokalnej ważnym źródłem biomasy może być surowiec pozyskiwany z przecinek leśnych i cięć pielęgnacyjnych na terenach zielonych w sadach oraz przy drogach. Biomasa drzewna może być bezpośrednio wykorzystana do spalania w kotłach. Aby jednak proces spalania był ekonomicznie i energetycznie atrakcyjny należy zieloną biomasę o stosunkowo wysokiej wilgotności przed spaleniem wysuszyć, aby podwyższyć jej wartość opałową. Proces produkcji pelet także wymaga wysuszenia 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 produktów [Mujumdar, 2014]. Warunkiem koniecznym jest uzyskanie efektywnego stanu fluidalnego w odniesieniu do analizowanej biomasy drzewnej.

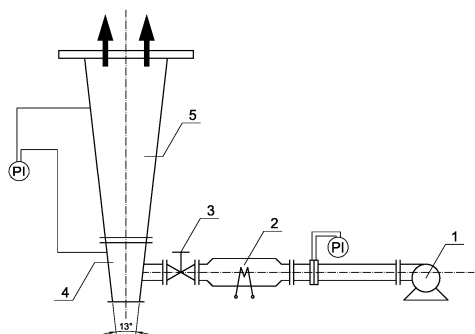
W pracy zaprezentowano wyniki eksperymentów dotyczących badania możliwości fluidyzacji zrębków drzewnych z trzech gatunków drzew pozyskanych z przycinki pielęgnacyjnej.

Badania doświadczalne

Instalacja

Badania doświadczalne zostały przeprowadzone na instalacji, której schemat przedstawiono na rys. 1.

Powietrze będące czynnikiem fluidyzującym tłoczone przez wentylator - 1 przepływało przez nagrzewnicę elektryczną - 2, komorę dystrybutora gazu - 4 do kolumny - 5 o średnicy podstawy 150 mm, wysokości 1300 mm i kącie rozwarcia 13°, a następnie po przejściu przez złożę wydostawało się na zewnątrz. Suszarka wyposażona była w oryginalną konstrukcję dystrybutora gazu [Ciesielczyk i in., 2012]. Zastosowany dystrybutor gazu zapewniał intensywne warunki hydrodynamiczne w złożu i uzyskanie warstwy materiału o właściwościach pośrednich pomiędzy klasycznym złożem fluidalnym, złożem fontannowym i wirowym. Istota konstrukcji polegała na sposobie doprowadzenia gazu do komory dystrybutora - 4 oraz



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 - wentylator, 2 - nagrzewnica, 3 - zawór regulacyjny, 4 - dystrybutor gazu, 5 - stożkowa kolumna ze szkła organicznego

ukształtowania powierzchni rusztu. W trakcie badań dotyczących określenia warunków fluidyzacji badanych substancji wymieniano korpus suszarki na element wykonany ze szkła dla umożliwienia prowadzenia obserwacji wizualnych. Oprzyrządowanie stanowiska badawczego zapewnia utrzymanie danych niezbędnych do sporządzenie krzywych fluidyzacji. Zestaw zwęzek (PI) wraz z zaworami - 3 umożliwia płynną, w szerokim zakresie zmienności, regulację i pomiar natężenia przepływu doprowadzanego gazu. Dodatkowo dla weryfikacji wyników zamontowano anemometr TESTO 416 (Testoterm GmbH & Co.). Spadki ciśnienia mierzono z wykorzystaniem dwuramiennych manometrów cieczowych (PI) oraz przyrządu TESTO 452 (Testoterm GmbH & Co.) wyposażonego w odpowiednią przystawkę. Badania prowadzono w temperaturze otoczenia.

Materiał badawczy

W badaniach wykorzystano zrębki drzewne pochodzące z trzech gatunków drzew: dębu szypułkowego (*Quercus robur L.*), orzecha włoskiego (*Juglans regia L.*) oraz brzozy brodawkowatej (*Betula verrucosa Ehrh.*). Zrębki otrzymano z rozdrabniania gałęzi w rębarkach. Właściwości fizykochemiczne badanych materiałów zostały przedstawione w tabeli 1. Większość tych danych zaczerpnięto z literatury [Francescato, Antonini, Bergomi, 2015]. Średnia zawartość wilgoci surowego (bezpośrednio po ścięciu) materiału wynosiła 16 %. Średnice zastępcze cząstek poszczególnych frakcji badanych materiałów wyznaczano w oparciu o definicję średnicy objętościowej jako średnicę kuli o objętości badanej cząstki. Średnia średnica zastępcza analizowanych warstw biomasy wahała się w granicach od 4,78 mm do 19,96 mm. Parametr ten obliczano jako sumę iloczynów udziałów masowych i średnic zastępczych poszczególnych frakcji uzyskanych z analizy sitowej [Mujumdar, 2014].

Tab. 1. Właściwości fizykochemiczne badanych materiałów

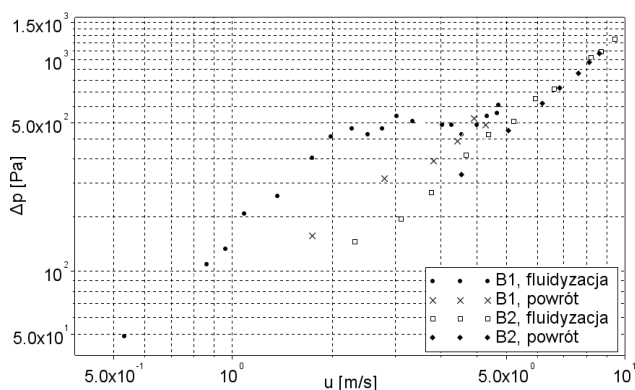
| Gatunek | Frakcja | Rozmiar cząstek [mm] | Gęstość w stanie suchym [kg/m ³] | Gęstość po ścięciu [kg/m ³] | Skurcz objętościowy [%] |
|---------------------|---------|----------------------|--|---|-------------------------|
| Dąb szypułkowy | D1 | <10 | 650 | 900÷1150 | 12,2÷15,0 |
| | D2 | 10÷20 | | | |
| Orzech włoski | O1 | <10 | 640 | 900÷1000 | 13,4÷14,0 |
| | O2 | 10÷20 | | | |
| Brzoza brodawkowata | B1 | <10 | 610 | 800÷900 | 13,7÷14,2 |
| | B2 | 10÷20 | | | |

Na podstawie analizy wyników otrzymanych w ramach badań wstępnych [Jurasz, 2014] postanowiono podzielić każdy z analizowanych materiałów polidispersyjnych na dwie frakcje na podstawie rozmiaru cząstek (Tab. 1). Wszystkie analizowane materiały zaliczają się do grupy D klasyfikacji Geldarta [1973]. Przyjęto, że badania będą prowadzone dla złożów o różnych wysokościach statycznych.

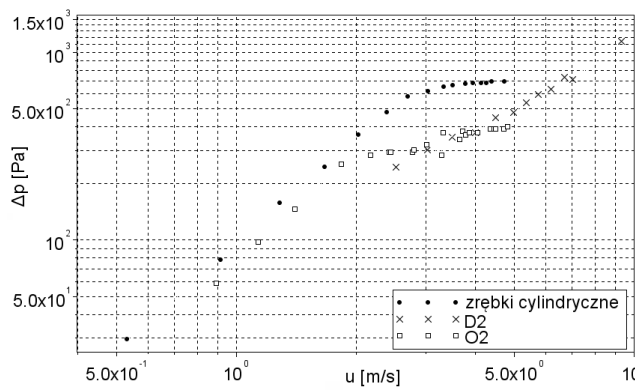
Wyniki i dyskusja

W oparciu o wyznaczone eksperymentalnie krzywe fluidyzacji stwierdzono możliwość uzyskania złoża fluidalnego dla wszystkich frakcji badanych materiałów.

Na rys. 2 zaprezentowano krzywe fluidyzacji dla frakcji B1 i B2 dla wysokości statycznej złożów 150 mm i 75 mm. Krzywa frakcji B1 przypomina klasyczne krzywe fluidyzacji dla materiałów monodispersyjnych, a krzywa frakcji B2 wykazuje silną tendencję wzrostową. Obserwacja ta potwierdza tezę (zauważoną także w innych badaniach [Ciesielczyk, 2009; Ciesielczyk i Kamińska-Pekala, 2014]),



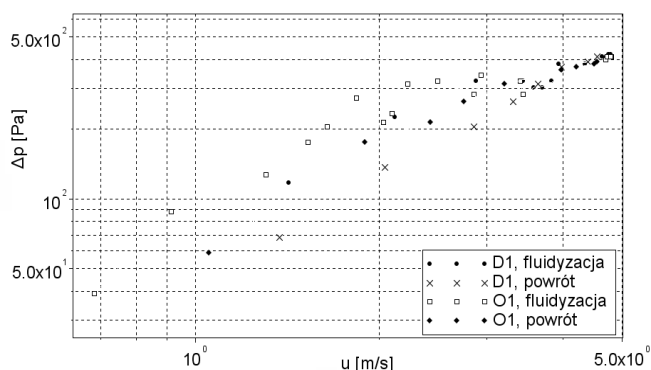
Rys. 2. Krzywe fluidyzacji brzozy brodawkowatej: dla frakcji B1 wysokość statyczna warstwy wynosiła 150 mm, dla frakcji B2 – 75mm



Rys. 5. Krzywe fluidyzacji zrębków cylindrycznych oraz frakcji D2 i O2 (wysokości statyczne złożeń 150 mm)

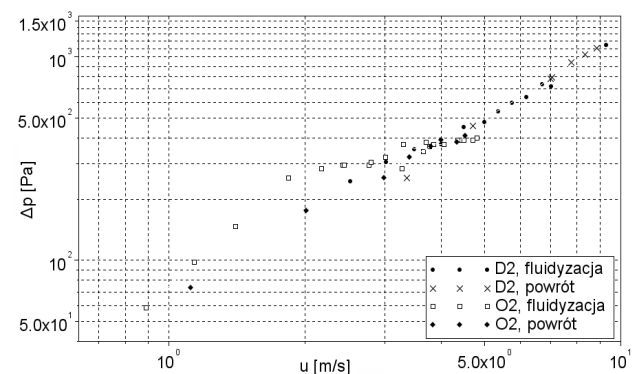
że efektywna fluidyzacja występuje przy wysokości statycznej złoża równej średnicy podstawy aparatu.

Krzywe fluidyzacji dla frakcji D1 i O1 przedstawiono na rys. 3, a na rys. 4 zaprezentowano krzywą fluidyzacji dla frakcji D2 i O2. Krzywe fluidyzacji dębu szypułkowego D1 i orzecha włoskiego O1 dla wysokości statycznych złożeń 150 mm mają bardzo podobne przebiegi. Na rys. 2 - 4 zauważa się histerezę krzywych fluidyzacji.



Rys. 3. Krzywe fluidyzacji frakcji D1 i O1 (wysokość statyczna warstw 150 mm)

Z analizy rys. 4 wynika, że krzywa fluidyzacji orzecha włoskiego O2 ma odmienny kształt od krzywej dla dębu szypułkowego D2 i jest ona podobna do krzywych dla frakcji D1 i O1 (Rys. 3). Można zauważyć wpływ wysokości statycznej złoża na efektywność przebiegu fluidyzacji.



Rys. 4. Krzywe fluidyzacji frakcji D2 (wysokość statyczna warstwy 112,5 mm) oraz frakcji O2 (wysokość statyczna warstwy 150 mm)

W oparciu o analizę krzywych fluidyzacji oraz obserwacje wizualne można stwierdzić, że najlepsze jakościowo warunki fluidyzacji występowały dla wysokości statycznej złożeń równych średnicy podstawy komory suszenia (150 mm) i wartości liczb fluidyzacji rzędu 2.

Krzywe fluidyzacji przedstawione na rys. 2 - 4 otrzymano przy badaniach stosownych frakcji otrzymanych z rębaków. W celach porównawczych przygotowano dodatkowo frakcje monodispersyjną analizowanych cylindrycznych zrębków drzewnych o średnicy zastępczej rzędu 20 mm. Na rys. 5 zaprezentowano krzywe fluidyzacji dla monodispersyjnych zrębków cylindrycznych oraz dla warstw polidispersyjnych dębu szypułkowego D2 i orzecha włoskiego O2. Można zauważyć, że spadki ciśnienia są większe dla zrębków cylindrycznych. Frakcje polidispersyjne fluidyzują łatwiej przy mniejszych nakładach energetycznych. Krzywa zrębków cylindrycznych ma jednostajny przebieg bez gwałtownych odchyłań.

Wnioski

Stwierdzono możliwość efektywnego suszenia w układzie fluidalnym testowanych rodzajów biomasy drzewnej przy zastosowaniu oryginalnego rozwiązania dystrybucji gazu [Ciesielczyk i in., 2012]. Realizacja procesu fluidyzacji i jego efektywność w zasadniczym stopniu uzależnione są od elementu rozdziałającego gaz.

Wykazano wpływ wysokości statycznej złożeń frakcji na jakość fluidyzacji. Wykazano, że efektywna fluidyzacja występuje przy wysokości statycznej złoża równej średnicy podstawy aparatu i liczbie fluidyzacji rzędu 2.

Skuteczna fluidyzacja złożeń polidispersyjnych powinna zapewnić uzyskanie łatwej do kontrolowania warstwy fluidalnej, wysoki współczynnik sprawności energetycznej przez efektywne wykorzystanie czynnika fluidyzującego oraz minimalizację wszelkich zakłóceń procesu – takie warunki uzyskano w trakcie badań.

LITERATURA

- Kublik A., Bielecki T., (2014). *Kraje UE muszą ograniczyć emisję CO₂. Decyzja ws. łupków wygraną Polski* (01.2016) <http://m.wyborcza.biz/biznes/55,106501,15320466,...,15320859.html?i=0&disableRedirects=true>
- Ciesielczyk W., (2009). Novel gas distributor for fluidized bed drying of biomass. *Drying Technology*, 27(12), 1309-1315. DOI: 10.1080/0737393090338612
- Ciesielczyk W., Kamińska A., Skoneczna J., (2012). *Suszarka fluidyzacyjna do suszenia materiałów polidispersyjnych, zwłaszcza rozdrobnionej biomasy*. Opis Ochronny Wzoru Użytkowego, PL 65937 Y1
- Ciesielczyk W., Kamińska-Pękala A., (2014). Propozycja zagospodarowania rozdrobnionej biomasy drzewnej w miejscu występowania surowca. *Inż. Ap. Chem.*, 53(4), 229-230
- Francescato, V., Antonini, E. and Bergomi, L. Z., (2008). Wood fuels handbook, AIEL (01. 2016): http://www.biomassstradecentre2.eu/scripts/download.php?file=/data/pdf_vsebine/literature/wood_fuels_handbook.pdf
- Geldart D., (1973). Types of gas fluidization. *Powder Technology*, 7(5), 285- 292
- Jurasz M., (2014). *Hydrodynamika fluidyzacji wybranych rodzajów biomasy*, Praca Inżynierska, Politechnika Krakowska, Kraków
- Mujumdar A.S., (2014). *Handbook of industrial drying*. CRC Press, New York