

## Włodzimierz CIESIELCZYK, Anita KAMIŃSKA-PĘKALA

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

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

## Propozycja zagospodarowania rozdrobnionej biomasy drzewnej w miejscu występowania surowca

### Wstęp

Rozdrobniona biomasa drzewna (szczapy, zrębki, trociny, ściniki, kora itp.) znajduje się w dostatecznej ilości na terenie całej Polski i staje się bardzo pożądanym surowcem energetycznym, co jest zgodne z wytycznymi Unii Europejskiej [Wojciechowska, 2006] oraz listą priorytetowych zadań suszarnictwa przedstawianą na specjalistycznych konferencjach naukowych i rekomendowanych do rozwiązania przez Komitet Inżynierii Chemicznej i Procesowej oraz Komitet Termodynamiki i Spalania Polskiej Akademii Nauk.

Biomasa drzewna może okazać się kluczem do rozwiązania problemu, jak pogodzić zwiększające się zapotrzebowanie na energię z koniecznością zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych. 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).

W ocenie energetycznej biomasy obowiązują takie same zasady jak w ocenie tradycyjnych paliw. Do najważniejszych kryteriów należą:

- wartość opałowa,
- zawartość wilgoci, popiołu i siarki,
- charakterystyczne temperatury topliwości popiołu,
- zawartość części lotnych
- uziarnienie.

Największą zaletą biomasy jest zerowy bilans ditlenku węgla, uwalnianego podczas spalania biomasy, a także niższa niż w przypadku paliw kopalnych emisja tlenków siarki, tlenków azotu i tlenku węgla. Niekorzystną cechą biomasy jest jej wysoka i zmienna zawartość wilgoci, która zależy od jej rodzaju i okresu sezonowania oraz niska koncentracja energii w jednostce objętości powodująca utrudnienia w dystrybucji i jej użytkowaniu w postaci pierwotnej. Dodatkowo zbyt mała gęstość biomasy wpływa na koszty transportu i magazynowania. Dlatego też biomasa jest najczęściej produktem wytwarzanym, przetwarzanym i konsumowanym lokalnie: np. na terenie gminy.

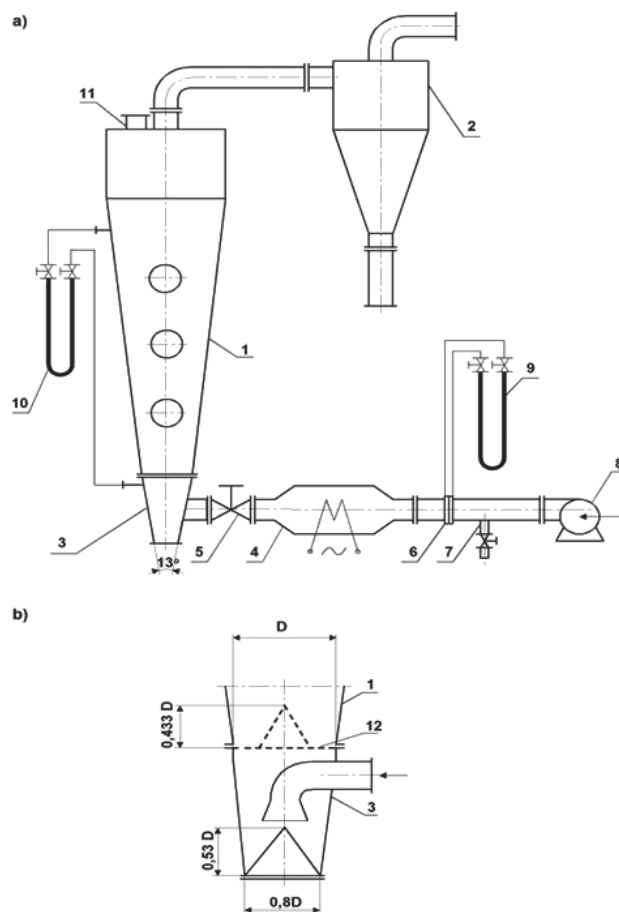
Zarówno biomasa z plantacji energetycznych jak i odpady pochodzenia roślinnego mogą być wykorzystane przez bezpośrednio spalanie w kotłach. Aby jednak proces spalania był ekonomicznie i energetycznie atrakcyjny należy zieloną biomasę o wysokiej wilgotności wysuszyć przed spalaniem, aby podwyższyć jej wartość opałową. Wartość opałowa biopaliw stałych waha się od 6 do 8 MJ/kg dla biopaliw o wilgotności 50÷60% (biomasa świeża) przez 15÷17 MJ/kg dla biopaliw podsuszonych do stanu powietrznie-suchego, których wilgotność wynosi 10÷20%, aż do około 19 MJ/kg dla biopaliw wysuszonych [Majtkowski, 2006].

Wynika z tego, że 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 [Mujumdar, 1995].

Aktualne zagadnienie poszukiwania rozwiązań zapewniających skuteczne warunki uzyskania efektywnej fluidyzacji rozdrobnionej biomasy drzewnej stanowi przedmiot niniejszej pracy.

### Stanowisko i metody badawcze

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



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

– 4, komorę dystrybutora gazu – 3 do kolumny – 1 o średnicy podstawy  $D = 150$  mm, wysokości 1300 mm i kącie rozwarcia  $13^\circ$ , 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. Zestaw zwężek – 6 wraz z zaworami – 5, umożliwia płynną regulację i pomiar natężenia przepływu doprowadzanego gazu. Spadki ciśnienia mierzone dwuramiennymi manometrami cieczowymi – 10 oraz przyrządem TESTO 452 firmy Testoterm GmbH & Co. wyposażonym w odpowiednią przystawkę.

W trakcie badań istniała możliwość określenia intensywności pylenia (wywiewania) przez pomiar wysokości warstwy materiału zebranego w odbieralniku cyklonu – 2.

Najistotniejszym zagadnieniem technicznym było opracowanie odpowiedniej geometrii dystrybutora gazu [Ciesielczyk, 2009; Kamińska i Ciesielczyk, 2012] zapewniającego intensywne mieszanie w złożu. Istota konstrukcji polega na zainstalowaniu, na styku komory suszenia i komory dystrybutora specjalnego rusztu ze stożkiem (Rys. 1b). Pole powierzchni bocznej stożka rusztu równe jest połowie dolnej po-

wierzchni przekroju poprzecznego komory suszenia. Stożek – podobnie jak powierzchnia pozioma rusztu – wykonany jest z blachy perforowanej. Przewód doprowadzający czynnik fluidyzujący umieszczony jest w komorze dystrybutora, w osi aparatu, w ten sposób, że otwór wylotowy zwrócony jest w kierunku podstawy suszarki ukształtowanej w formie stożka. Struktura ładunku fluidalnego rozdrobnionej biomasy i charakter jej zmian są istotne dla prawidłowej organizacji suszenia tych substancji.

Jednym z celów badań było określenie warunków procesowych zapewniających uzyskanie efektywnej fluidyzacji. W tym przypadku wyznaczano eksperymentalnie krzywe fluidyzacji dla różnych wysokości statycznych badanych materiałów prowadząc jednocześnie obserwacje wizualne układu [Kamińska i Ciesielczyk, 2012].

Zachowanie się złoża fluidalnego jest różne w zależności od charakterystyki cząstek ciała stałego i strumienia fluidyzującego gazu. Istotnym problemem związanym z projektowaniem aparatów fluidyzacyjnych oraz modelowaniem matematycznym procesu jest określenie rodzaju i jakości fluidyzacji. Klasyfikację materiałów pod tym kątem, powiązaną z rozmiarem ziarna i jego gęstością opracował Geldart [Mujumdar, 1995], a wszystkie analizowane materiały zaliczają się do grupy D wg jego klasyfikacji.

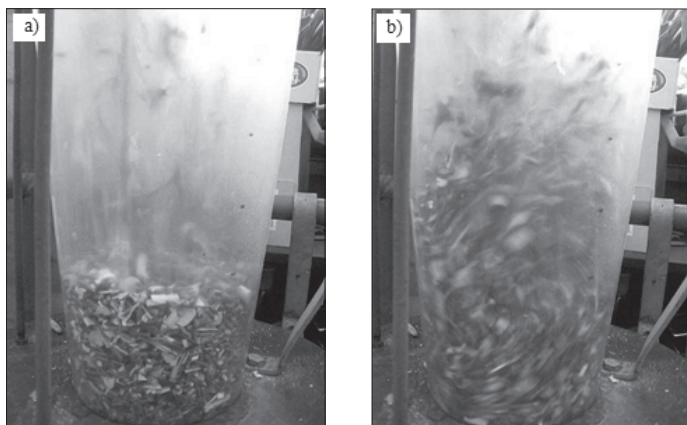
### Materiały

Badania eksperymentalne prowadzono ze zrębkami olchy, klonu i dębu (pozyskanymi z wiosennych przycinek kosmetycznych zieleni miejskiej) oraz rozdrobnionymi odpadami sosny zebranych w lasach. Początkowa zawartość wilgoci testowanych materiałów zawarta była w granicach od 9,65%, dla klonu, 14,8% dla olchy, 10,9% dla dębu do 24,7% dla sosny. Zawartość wilgoci w danym materiale wyznaczano metodą bezpośrednią, susząc pobrane próbki do stałej masy w suszarce laboratoryjnej. Średnia średnica zastępcza analizowanych warstw biomasy wahała się w granicach od 9,56 do 19,73 mm. Ten parametr obliczano jako sumę iloczynów udziałów masowych i średnic zastępczych poszczególnych frakcji uzyskanych z analizy sitowej [Mujumdar, 1995].

### Wyniki i analiza testów

Stwierdzono możliwość uzyskania złoża fluidalnego dla wszystkich badanych materiałów. Dzięki zastosowanemu dystrybutorowi gazu uzyskano intensywne warunki hydrodynamiczne w badanych warstwach materiałów, przy czym najlepsze wyniki uzyskano dla wysokości statycznej złoża równej średnicy podstawy komory suszenia ( $H = D$ ) i wartości liczby fluidyzacji ok. 2.

Dla zapewnienia skutecznej fluidyzacji analizowanych materiałów zastosowano oryginalny dystrybutor gazu [Ciesielczyk i in., 2012] umożliwiając uzyskanie warstwy o właściwościach pośrednich pomiędzy klasycznym złożem fluidalnym, złożem fontannowym i wirowym (Rys. 2).

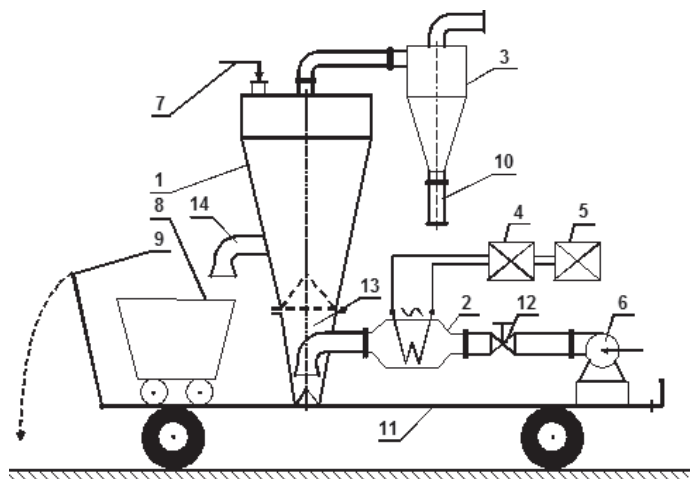


Rys. 2. Zmiana struktury układu fluidalnego zrębków olchy: a) liczba fluidyzacji równa 1,2; b) liczba fluidyzacji równa 2,5

Z zastosowania proponowanego rozwiązania dystrybucji gazu wynikają następujące korzyści techniczne:

- intensyfikacja procesu suszenia rozdrobnionej biomasy drzewnej,
- ograniczenie pylenia (maksymalnie 4% masy złoża w przeliczeniu na materiał suchy) z jednoczesną możliwością zwiększenia natężenia przepływu czynnika fluidyzującego,
- duża uniwersalność.

W oparciu o kompleksową analizę zagadnienia proponuje się konstrukcję mobilnej suszarki fluidyzacyjnej, przy zastosowaniu rozwiązań zawartych w opisie wzoru użytkowego [Ciesielczyk i in., 2012] pozwalającej na efektywne suszenie biomasy o różnorodnych właściwościach fizykochemicznych, strukturalno-mechanicznych, czy sorpcyjnych w miejscu występowania surowca. Ideę takiego rozwiązania przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Idea mobilnego zestawu do suszenia w układzie fluidalnym rozdrobnionej biomasy: 1 – komora suszarki, 2 – nagrzewnica, 3 – cyklon, 4 – prądnica, 5 – silnik spalinowy, 6 – wentylator, 7 – króciec zasilający, 8 – wózek do odbioru produktu wysuszonego, 9 – ruchomy podest, 10 – komora odbioru, 11 – przyczepa, 12 – zawór regulacyjny, 13 – komora dystrybutora gazu, 14 – króciec wyprowadzający

### Wnioski

- Realizacja procesu fluidyzacji i jego efektywność w znacznym stopniu uzależnione są od elementu rozdzielnego gaz. Zastosowanie oryginalnego rozwiązania konstrukcyjnego dystrybutora gazu zapewnia intensywne warunki hydrodynamiczne w złożu, a tym samym skuteczną fluidyzację rozdrobnionej biomasy drzewnej.
- Zaproponowana konstrukcja mobilnego zestawu suszarniczego przewidziana jest do wykorzystania w miejscach okresowego występowania odpadów biomasy.

Badania testowe są kontynuowane w szerokim zakresie zmian parametrów procesowych i rodzajów biomasy.

### LITERATURA

- Ciesielczyk W., 2009. Novel gas distributor for fluidized bed drying of biomass, *Drying Technology*, 27, nr 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
- Kamińska A., Ciesielczyk W., 2012. Konstrukcja dystrybutora gazu, a efektywność suszenia fluidalnego wybranych rodzajów rozdrobnionej biomasy. *Inż. Ap. Chem.*, 51, nr 6, 326-327
- Majtkowski J., 2006. Powrót do przeszłości. *Aeroenergetyka*, 16, 28-32
- Mujumdar A.S., 1995. *Handbook of industrial drying*, Marcel Dekker, New York
- Wojciechowska U., 2006. Unijny plan działania w sprawie biomasy, *Czysta Energia*, nr 1, 16-18

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