

WŁODZIMIERZ CIESIELCZYK, ANITA KAMIŃSKA, JOANNA SKONECZNA

Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie

EFEKTYWNE SUSZENIE FLUIDALNE ROZDROBNIONEJ BIOMASY DRZEWNEJ*

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań testowych dotyczących możliwości suszenia fluidalnego wybranych rodzajów biomasy. Określono warunki pozwalające na uzyskanie efektywnej fluidyzacji zrębków drzewnych. Zaprezentowano oryginalny dystrybutor gazu umożliwiający uzyskanie warstwy o właściwościach pośrednich między klasycznym złożem fluidalnym, złożem fontannowym i wirowym.

Słowa kluczowe: biomasa, suszenie

Wstęp

Aktualne kłopoty z tradycyjnymi surowcami energetycznymi i obowiązujące wycieczne Unii Europejskiej dotyczące odnawialnych źródeł energii zobowiązują do podjęcia działań w zakresie kompleksowego zagospodarowania biomasy. Jest to problem ważny zarówno z uwagi na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego, jak i 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. Jest to tym bardziej możliwe, że biomasa znajduje się w dostatecznej ilości na terenie całego kraju i staje się bardzo pożądanym surowcem energetycznym, przeżywając swoisty renesans (STRUMILŁO i IN. 1995, KUDRA i STRUMILŁO 1998, KARWASZ 2007). Wykorzystanie biomasy w Polsce może być zwiększone. W skali lokalnej ważnym źródłem biomasy jest surowiec pozyskiwany z przecinek leśnych

*Praca finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy nr N N209 105739.

i cięć pielęgnacyjnych na terenach zielonych i w sadach. Duże znaczenie może mieć też biomasa z upraw celowych (rośliny energetyczne).

Zarówno biomasa z plantacji energetycznych, jak i odpady pochodzenia roślinnego mogą być wykorzystane przez spalanie w kotłach (ŚCIAŻKO i KUBICA 2002). Aby jednak proces spalania był ekonomicznie i energetycznie atrakcyjny należy zieloną biomasę przed spaleniem wysuszyć w celu zwiększenia jej wartości opałowej. Wartość opałowa to jeden z najważniejszych parametrów termofizycznych biopaliw stałych. Wynosi ona 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 całkowicie wysuszonych (MAJTKOWSKI 2006, LEWANDOWSKI 2007, TYTKO 2008).

Ostatnio coraz więcej uwagi zwraca się na uszlachetnianie biomasy stałej przez proces granulacji (peletyzacji) (STOLARSKI 2005). Pelety to stałe paliwo z biomasy, wygodne w użyciu zarówno w gospodarstwach domowych, jak i zakładach przemysłowych i lokalnych ciepłowniach. Produkcja polega na poddaniu biomasy suszeniu (do wilgotności około 12%), mieleniu i prasowaniu. Pelety są jednym z najtańszych rodzajów paliw występujących na rynku. W stosunku do oleju opałowego koszty jednostki ciepła są niższe o połowę, a w odniesieniu do pozostałych paliw – mniej więcej o 30% (STRUMIŁŁO i IN. 1995, KUDRA i STRUMIŁŁO 1998, KARWASZ 2007, LEWANDOWSKI 2007, TYTKO 2008). Paliwo stałe z biomasy opartej na zrębkach pod względem właściwości ekologicznych jest korzystniejsze od węgla kamiennego (zamknięty obieg CO₂, mała zawartość siarki oraz relatywnie niewielka pozostałość popiołu), natomiast pod względem niektórych właściwości fizyczno-chemicznych jest mniej atrakcyjne niż kopaliny. Jest to związane m.in. z małą gęstością biomasy, co wpływa na koszty transportu i magazynowania. Ponadto duża wilgotność surowej biomasy oraz mała koncentracja energii w jednostce objętości powodują utrudnienia w jej dystrybucji i użytkowaniu w postaci pierwotnej. Z tych powodów biomasa jest najczęściej produktem wytwarzanym, przetwarzanym i konsumowanym lokalnie, np. na terenie gminy. Komprymacja biomasy prowadzi do zwiększenia jej wartości energetycznej (z jednostki objętości). Granulat jest odporny na samozapłon i naturalne procesy gnilne. Łatwość załadowania granulatu do pieców lub kotłów oraz mała ilość popiołu po spaleniu sprawiają, że urządzenia takie są prawie bezobsługowe. Pelety zajmują od 10 do 30 razy mniej miejsca niż świeży surowiec, przez co maleją koszty składowania i transportu.

Odpady zrębkowe pozyskiwane zarówno z lasów, jak i z zakładów pielęgnacji zieleni miejskiej mogą się charakteryzować dużą wilgotnością – do 60%. W przypadku biomasy zawartość wilgoci jest kluczowa dla oceny jej potencjału energetycznego, dlatego też ważnym etapem produkcji i przetwarzania biomasy dla celów energetycznych jest suszenie pozyskanego produktu przy minimalizacji kosztów tego procesu (STRUMIŁŁO i IN. 1995, STRUMIŁŁO 2006). Biorąc pod uwagę koszty produkcji, należy poszukiwać metody stosunkowo taniej. Takie oczekiwania może spełnić suszenie w układzie fluidalnym (MUJUMDAR 1995, 2006, STRUMIŁŁO 2006). Warunkiem koniecznym jest uzyskanie stanu fluidalnego efektywnego w odniesieniu do testowanych materiałów. Ten etap projektu jest przedmiotem niniejszego opracowania.

Material i metody

Jednym z celów kompleksowych badań suszenia ciał stałych realizowanych w Instytucie Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Krakowskiej było opracowanie konstrukcji suszarki fluidyzacyjnej pozwalającej na efektywne suszenie biomasy o różnorodnych właściwościach fizyczno-chemicznych, strukturalno-mechanicznych czy sorpcyjnych. Struktura ładunku fluidalnego i charakter jej zmian są istotne dla prawidłowej organizacji suszenia rozdrobnionej biomasy, szczególnie zrębków drzewnych. Fluidyzacja tych materiałów w klasycznych aparatach jest praktycznie niemożliwa.

W trakcie badań stwierdzono, że najistotniejszym zagadnieniem technicznym było opracowanie geometrii dystrybutora gazu, przy założeniu maksymalnej prostoty konstrukcji i eliminacji wad występujących w dotychczas stosowanych konstrukcjach.

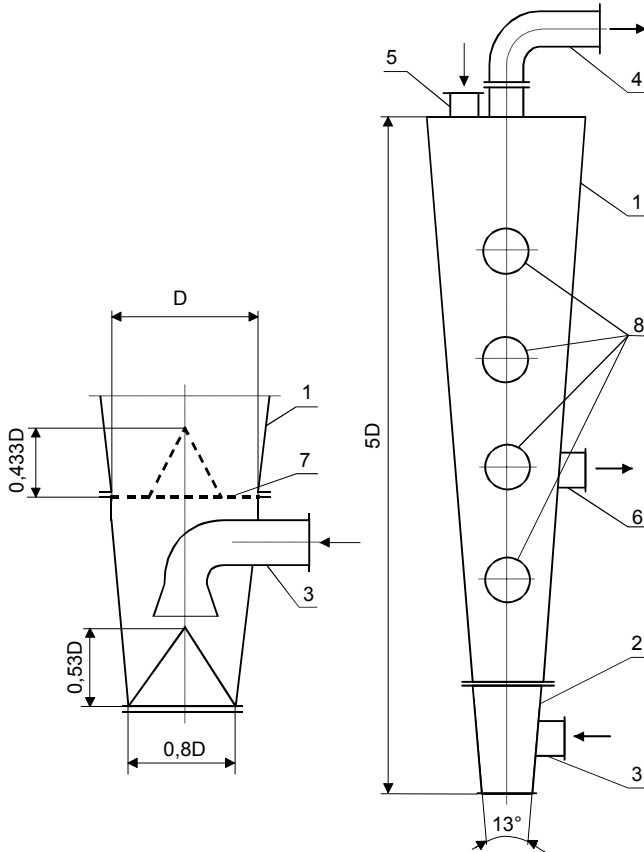
Efektem pracy (CIESIELCZYK 2009, WZÓR UŻYTKOWY... 2010) jest suszarka fluidyzacyjna (rys. 1) o stożkowym kształcie komory suszenia z kątem rozwarcia 13°. Na styku komory suszenia i komory dystrybutora jest umieszczony specjalny ruszt ze stożkiem. Pole powierzchni bocznej stożka rusztu równe jest połowie dolnej powierzchni przekroju poprzecznego komory suszenia. Stożek – podobnie jak powierzchnia pozioma rusztu – jest wykonany z blachy perforowanej lub dwu warstw siatki o odpowiednio dobranych powierzchniach prześwitu (WZÓR UŻYTKOWY... 2010). Przewód doprowadzający czynnik fluidyzujący jest umieszczony w komorze dystrybutora, w osi aparatu, w ten sposób, że otwór wylotowy jest zwrócony w kierunku podstawy suszarki ukształtowanej w formie stożka.

Badania możliwości fluidyzacji wybranych rodzajów rozdrobnionej biomasy prowadzi się w instalacji doświadczalnej, której podstawowym elementem jest suszarka (rys. 1). Przewidziano możliwość określenia intensywności pylenia przez pomiar wysokości warstwy materiału zebranego w odbieralniku cyklonu. W trakcie badań dotyczących określenia warunków fluidyzacji badanych substancji wymieniano korpus suszarki na element wykonany ze szkła organicznego w celu umożliwienia prowadzenia obserwacji wizualnych. Szczegółowa charakterystyka konstrukcji dystrybutora gazu, metodyka badań oraz wyniki eksperymentów dotyczących hydrodynamiki testowanych układów przedstawiono w innych publikacjach (CIESIELCZYK 2009, CIESIELCZYK i KAMIŃSKA 2009, WZÓR UŻYTKOWY... 2010).

Materiał badawczy stanowiły zrębki drzewne. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe właściwości fizyczno-chemiczne badanych materiałów.

Tabela 1. Właściwości fizyczno-chemiczne testowanych substancji
Table 1. Physicochemical properties of tested substances

Rodzaj biomasy Type of biomass	Gęstość Density ρ_p (kg/m ³)	Porowatość Porosity ϵ_0	Średnica zastępcza Equivalent diameter d_z (mm)	Zawartość wilgoci Moisture content X (%)
Wierzba – zrębki – Willow – chunks	1 003	0,626	5,890	12,0
Odpad z tartaku – Sawmill residues	845	0,487	6,980	38,0
Olcha – zrębki – Alder – chunks	790	0,588	9,190	11,0
Jabłoń – zrębki – Apple tree – chunks	695	0,600	6,950	15,0



Rys. 1. Suszarka fluidyzacyjna do suszenia rozdrobnionej biomasy: 1 – komora suszenia, 2 – komora dystrybutora gazu, 3 – doprowadzenie powietrza, 4 – odprowadzenie powietrza, 5 – doprowadzenie materiału wilgotnego, 6 – odprowadzenie materiału wysuszonego, 7 – ruszt, 8 – wzierniki

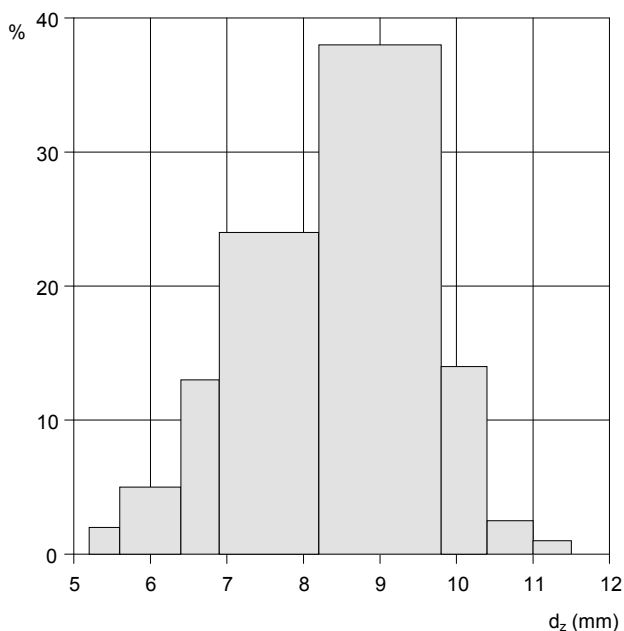
Fig. 1. Fluidized bed-dryer for ground biomass: 1 – drying chamber, 2 – gas distributor chamber, 3 – air inlet, 4 – air outlet, 5 – inlet of moist material, 6 – outlet of dried material, 7 – grid, 8 – sight glasses

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 na podstawie definicji 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 (MUJUMDAR 1995). Zawartość wilgoci X w danym materiale wyznaczano metodą bezpośrednią, susząc próbki do stałej masy w suszarce laboratoryjnej.

Wszystkie analizowane materiały można zaliczyć praktycznie do grupy D klasyfikacji Geldarta (GELDART 1973, MUJUMDAR 1995).

Wyniki i dyskusja

Testowana biomasa drzewna (zrębki) charakteryzowała się dużym zróżnicowaniem w zakresie granulacji cząstek. Na rysunku 2 zaprezentowano przykładowo wyniki analizy sitowej (zależność udziału masowego od średnicy zastępczej) dla zrębków olchy.

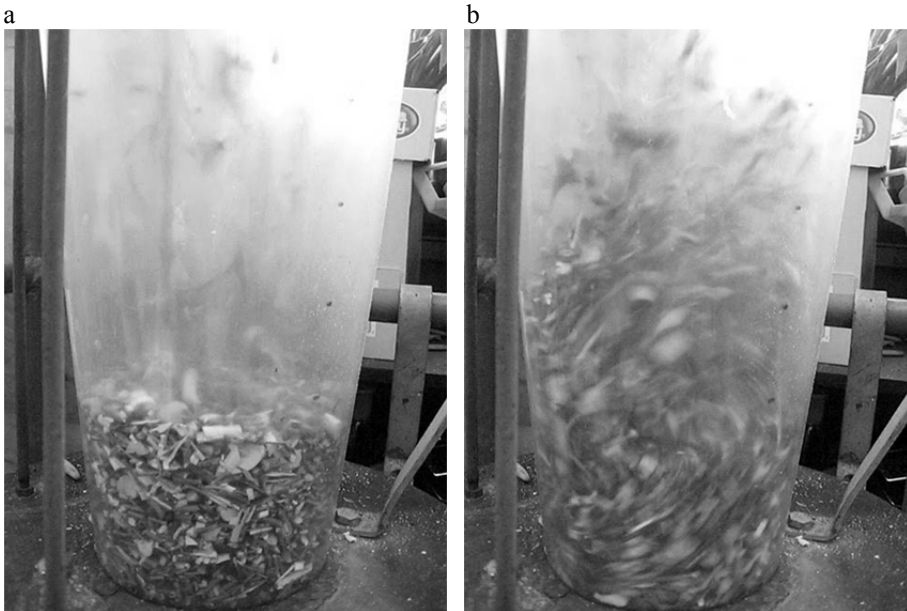


Rys. 2. Wyniki analizy sitowej zrębków olchy
Fig. 2. Results of screen analysis of alder chunks

Badania doświadczalne przeprowadzone z ziarnami o różnym kształcie i rozmiarach pozwalają na opisanie jakości procesu fluidyzacji. Zastosowany dystrybutor gazu generuje intensywne warunki hydrodynamiczne w badanych warstwach, zapobiegając klasycznym zakłóceniom występującym przy fluidyzacji złożów polidispersyjnych, tzn. tłokowaniu i kanałowaniu przez wymuszenie wirowania. Intensywnego pęcherzykowania nie zauważono.

Na rysunku 3 zaprezentowano zmiany struktury ładunku zrębków olchy uzyskane w trakcie badań od warunków początku fluidyzacji do wartości odpowiadającej liczbie fluidyzacji 2,5 po zwiększeniu prędkości przepływu powietrza.

Stwierdzono możliwość uzyskania złoża fluidalnego o właściwościach pośrednich między klasyczną warstwą fluidalną, złożem wirowym i fontannowym dla wszystkich



Rys. 3. Zmiana struktury układu fluidalnego zrębków olchy: a – liczba fluidyzacji równa 1,2, b – liczba fluidyzacji równa 2,5

Fig. 3. Structural change of fluidized system of alder chunks: a – fluidization number equal to 1.2, b – fluidization number equal to 2.5

badanych materiałów. Najprawdopodobniej wskutek skomplikowanego kształtu ziaren zrębków drzewnych punkty przyłożenia siły podnoszenia nie odpowiadają środkom ich ciężkości. W wyniku tego elementy złoża są wprawiane w ruch obrotowy (rys. 3 b), a równocześnie zachodzi ich orientacja w kierunku przepływu strumienia gazu, co wywołuje cykliczny ruch cząstek w całej objętości ładunku.

Jakość fluidyzacji jest zadowalająca, a pylenie ograniczone do minimum. Dla analizowanych zrębków drzewnych uzyskuje się intensywną warstwę fluidalną przy liczbach fluidyzacji rzędu 2-3.

Podsumowanie

1. Realizacja procesu fluidyzacji i jego jakość w znacznym stopniu są uzależnione od elementu rozdzielającego gaz. Zastosowanie specjalnego rusztu i odpowiednio ukształtowanego dystrybutora zapewnia intensywne warunki hydrodynamiczne w złożu, uzyskanie warstwy suszonego materiału o właściwościach pośrednich między klasycznym złożem fluidalnym, złożem fontannowym i wirowym, a tym samym umożliwia efektywne suszenie analizowanych rodzajów biomasy.

2. Jak stwierdzono w trakcie badań testowych, korzyści techniczne wynikające z zastosowania proponowanego rozwiązania konstrukcyjnego to: 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, równomierność suszenia, duża uniwersalność.

Literatura

- CIESIELCZYK W., 2009. Novel gas distributor for fluidized bed drying of biomass. *Dry. Technol.* 27, 12: 1309-1315.
- CIESIELCZYK W., KAMIŃSKA A., 2009. Efektywna fluidyzacja wybranych rodzajów rozdrobnionej biomasy. *Inż. Apar. Chem.* 48, 6: 36-37.
- GELDART D., 1973. Types of gas fluidization. *Powd. Technol.* 7, 5: 285-291.
- KARWASZ Z., 2007. Biomasa jako źródło wytwarzania energii odnawialnej w Polsce. *Czysta Energ.* 7-8: 16-17.
- KUDRA T., STRUMIŁŁO C., 1998. *Thermal processing of biomaterials.* Gordon and Breach, New York.
- LEWANDOWSKI W.M., 2007. *Proekologiczne odnawialne źródła energii.* WN-T, Warszawa.
- MAJTKOWSKI W., 2006. Powrót do przeszłości. *Aeroenergetyka* 16, 2: 28-32.
- MUJUMDAR A.S., 1995. *Handbook of industrial drying.* Dekker, New York.
- MUJUMDAR A.S., 2006. Innovation and globalization in drying R&D. W: *Proceedings 15th International Drying Symposium IDS'2006, Budapest, Hungary, 20-23 August 2006.* Ed. I. Farakas. Szent Istvan University, Gödöllő, A: 3-17.
- STOLARSKI M., 2005. Charakterystyka zrębków oraz peletów (granulatów) z biomasy wierzby i ślazuca jako paliwa. *Probl. Inż. Roln.* 46, 1: 13-21.
- STRUMIŁŁO C., 2006. Perspectives on developments in drying. *Dry. Technol.* 24, 9: 1959-1968.
- STRUMIŁŁO C., JONES P.L., ZYLLA R., 1995. Energy aspects in drying. W: *Mujumdar A.S., Handbook of industrial drying.* Dekker, New York: 1241-1298.
- ŚCIAŻKO M., KUBICA K., 2002. Zastosowanie biomasy w energetyce. *Karbo* 47, 11: 325-330.
- TYTKO R., 2008. *Odnawialne źródła energii. Wybrane zagadnienia.* Deka, Kraków.
- WZÓR UŻYTKOWY W-118761. Suszarka fluidyzacyjna do suszenia materiałów polidispersyjnych, zwłaszcza rozdrobnionej biomasy. 2010. Współtwórcy: W. Ciesielczyk, A. Kamińska, J. Skoneczna. *Ochr. praw. od 8.02.2010.* Urząd Patentowy, Warszawa.

EFFECTIVE FLUIDIZED-BED DRYING OF GRINDED WOODEN BIOMASS

Summary. The results of tests on possibilities of fluidized-bed drying of selected kinds of biomass have been described. The conditions for effective fluidization of wooden chunks have been determined. An original gas distributor enabling to achieve a layer with properties in between a classical fluidized bed, a spouted bed and a whirl bed has been presented.

Key words: biomass, drying

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Włodzimierz Ciesielczyk, Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Poland, e-mail: wlodek@indy.chemia.pk.edu.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

16.08.2011

Do cytowania – For citation:

*Ciesielczyk W., Kamińska A., Skoneczna J., 2011. Efektywne suszenie fluidalne rozdrobnionej biomasy drzewnej. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #66.*