

Wojciech GORYL<sup>1</sup>  
Mariusz FILIPOWICZ<sup>2</sup>

## METODY WYKORZYSTYWANE W SUSZENIU BIOMASY

W przeważającej mierze, w suszarkach biomasy wykorzystuje się spaliny pochodzące ze spalania biomasy lub parę technologiczną jako czynnik suszący. Czynnik suszący jakim jest powietrze zazwyczaj stosuje się dla materiałów o charakterze spożywczym ze względu na koszty samej instalacji, sprawności jak również wielkości instalacji związanej z montażem wymiennika spaliny-powietrze. Biomasa charakteryzuje się niską gęstością usypową oraz niską wartością opałową. Dodatkowo, jest to dość problematyczne paliwo ze względu na niejednorodność materiału. Przydatność energetyczna biomasy zależy od wilgotności, składu chemicznego oraz rodzaju. Jednakże, podstawowym problemem energetycznego wykorzystania biomasy jest zawartość wilgoci. Główny wpływ na nią ma okres zbioru oraz warunki jej przechowywania. Biomasa sucha może osiągać wilgotność nawet poniżej 10%, jednak biomasa świeża najczęściej posiada nawet 60-70% wilgotności względnej, co jest wartością bardzo wysoką. Paliwo takie bardzo ciężko spalać lub jest to nawet niemożliwe. Poniższy artykuł ma na celu przedstawienie najczęściej stosowanych w przemyśle metod suszenia biomasy. Pozwoli on na ocenę i możliwości wykorzystania danej metody do danego paliwa. W artykule tym przedstawiona została zasada działania następujących suszarek wraz z elementami składowymi: i) suszarki bębnowe przeponowe i bezprzeponowe z przepływem czynnika suszącego we współ- i przeciwpładzie względem suszonego paliwa, ii) suszarki pneumatyczne, iii) suszarki fluidalne, iv) suszarki taśmowe, oraz v) innowacyjna suszarka na cylindryczne baloty słomy.

**Słowa kluczowe:** biomasa, suszarki, suszenie, słoma

### 1. Wprowadzenie

Począwszy od wielkiego kryzysu energetycznego w latach 70. XX wieku społeczeństwo coraz przychylniej spogląda na alternatywne źródła energii i możliwości ich wykorzystania do wytwarzania energii elektrycznej, produkcji

---

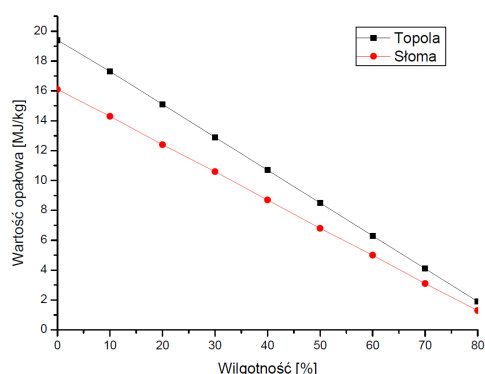
<sup>1</sup> Autor do korespondencji / corresponding author: Wojciech Goryl, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel. +48 12 617 34 28; wgoryl@agh.edu.pl

<sup>2</sup> Mariusz Filipowicz, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel. +48 12 617 51 92; filipow@agh.edu.pl

ciepła czy napędzania pojazdów. Przez ostatnie lata widzimy coraz prężniej rozwijającą się gałąź przemysłu jakim są odnawialne źródła energii. Powstaje coraz więcej firm produkujących elementy farm fotowoltaicznych czy wiatrowych, jak również kotłów biomasowych. Spowodowane jest to głównie poprzez dwa czynniki. Pierwszym z nich jest niepewność dostaw paliw kopalnych jakimi są w głównej mierze ropa naftowa i gaz ziemny, powiązane z obecnym kryzysem politycznym na linii Rosja – Unia Europejska oraz sytuacja polityczna na bliskim wschodzie. Drugim, wspieranie rozwoju odnawialnych źródeł energii przez Unię Europejską poprzez wprowadzanie Dyrektyw mających na celu ograniczanie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery [1,2,3,4]. Dodatkowym impulsem rozwoju odnawialnych źródeł energii są wszelakiego rodzaju dopłaty do urządzeń niskoemisyjnych oraz wprowadzanie taryf gwarantowanych (feed-in-tariff) lub np. zielonych certyfikatów.

Istnieje wiele opracowań mówiących o tym iż w Polsce jednym z najważniejszych źródeł energii odnawialnych jest biomasa. Jej potencjał techniczny oscyluje w granicach 800-900 PJ na rok [5,6]. W oszacowaniu sporządzonym na cele raportu GHG Reduction Strategy jest to ponad 100 PJ [5], jednakże biomasa posiada najwyższy potencjał w odniesieniu do innych odnawialnych źródeł energii. Dodatkowo, biomasa jest najbardziej przewidywalnym źródłem energii i porównując ją do energii słonecznej czy wiatru możliwa do wykorzystania przez okres całego roku. Ponadto, biomasę bardzo łatwo magazynować i wykorzystywać w okresach zwiększonego zapotrzebowania oraz transportować w miejsca, gdzie występuje jej deficyt.

Polska jako kraj rolniczy oraz posiadający duży obszar zalesienia dysponuje sporymi zasobami biomasy, która może być wykorzystana do wytwarzania energii elektrycznej lub produkcji ciepła. Jednym z podstawowych problemów energetycznego wykorzystania biomasy jest gęstość usypowa jak również wartość opałowa. W danej objętości biomasy jest ok. 4-8 razy mniej energii w porównaniu do tej samej objętości węgla. Powoduje to szereg problemów, a głów-



Rys. 1. Wartość opałowa topoli i słomy od zawartości wilgoci, na podstawie [9]

Fig. 1. The calorific value of poplar and straw in function of moisture content, based on [9]

nym jest problem transportowy – koszty związane z transportem biomasy na duże odległości oraz emisje związane z transportem biomasy od miejsca jej pozyskania do miejsca jej utylizacji [7,8]. Jednym z najważniejszych czynników wpływających na wartość opałową biomasy jest jej wilgotność. Na Rys. 1 przedstawiono zależność wartości opałowej dla drewna i słomy od zawartości wilgoci. Im większa wilgotność biomasy tym wartość opałowa tej biomasy spada.

Należy wspomnieć, że istnieje pewna dolna i górna granica wilgotności, której nie należy przekraczać przy energetycznym jej wykorzystaniu co niekorzystnie wpływa na proces spalania oraz na samą konstrukcję kotłów biomasowych. Przykładowo dla słomy spalanej w kotłach wsadowych, najlepiej aby jej wilgotność wynosiła ok. 15-20%. Ma to korzystny wpływ na proces spalania z uwagi na katalityczne działanie pary wodnej wobec spalania nadmiernej ilości części lotnych występujących w biomase [10]. Ponadto, zaobserwowano pewne optimum wilgotności wynoszące ok. 15-16% dla której emisja pyłów do atmosfery podczas jej spalania w kotłach biomasowych jest najmniejsza. Jak łatwo można zauważyć wilgotność biomasy ma ogromny wpływ na jakość paliwa oraz na prowadzenie optymalnego procesu spalania.

Poniższy artykuł ma charakter przeglądowy i przedstawione zostaną w nim wybrane metody suszenia biomasy.

## 2. Metody suszenia biomasy

Najczęściej stosowanymi technologiami suszenia biomasy są: suszarki bębnowe, suszarki pneumatyczne, suszarki fluidyzacyjne i suszarki taśmowe [11]. W tabeli 1 przedstawione zostały typowe parametry pracy powyższych suszarek.

Tabela 1. Typowe parametry konstrukcyjne i wydajności dla różnych suszarek, na podstawie [11], suszarka na słomę – badania własne

Table 1. Typical range of design parameters and performance data for various dryers, based on [11], straw dryer – own research

|   | Typ suszarki |              |           |         |                         |
|---|--------------|--------------|-----------|---------|-------------------------|
|   | Bębnowa      | Pneumatyczna | Fluidalna | Taśmowa | Suszarka na słomę       |
| Szybkość odparowywania [t/h]            | 3-23         | 4,8-17       | 5-40      | 0,5-40  | 0,02-0,03               |
| Temperatura suszenia [°C]               | 200-600      | 150-280      | 150-200   | 30-200  | 80-150                  |
| Początkowa wilgotność materiału [%]     | 45-65        | 45-65        | 50-60     | 45-72   | 25-50                   |
| Spadek wilgotności podczas suszenia [%] | 10-45        | 10-45        | 10-15     | 15-25   | 15-40                   |
| Maksymalny rozmiar materiału [mm]       | 125          | 50           | 0,5-50    | -       | Balot słomy o śr. 160cm |

W przeważającej mierze, w suszarkach tych jako czynnik suszący wykorzystuje się spaliny pochodzące ze spalania biomasy lub parę technologiczną [12]. Czynnik suszący jakim jest powietrze zazwyczaj stosuje się dla materiałów spożywczych ze względu na koszty samej instalacji, sprawności jak również wielkości instalacji związanej z montażem wymiennika spaliny-powietrze.

## 2.1. Suszarki bębnowe

W suszarnictwie przemysłowym najbardziej rozpowszechnione są suszarnie bębnowe. Spowodowane jest to tym, iż mogą być one wykorzystywane do suszenia materiałów o różnym uziarnieniu, jak również dla materiałów o różnej wilgotności. Suszarki te posiadają stosunkowo prostą budowę, dużą przepustowość, ich konstrukcja pozwala na stosowanie relatywnie wysokich temperatur nawet do 1100 °C oraz pozwala na pracę ciągłą [13]. Działanie tego rodzaju suszarni opiera się na obrocie pochylonego bębna, w którym znajduje się materiał suszony. W trakcie obrotu materiał jest unoszony za pomocą łopatek, a opada w strumieniu gorącego czynnika suszącego, który przepływa przez bęben w współ- lub przeciwpładzie. Pozwala to na osiągnięcie jak najwyższego wskaźnika transferu masy i ciepła. Jeżeli temperatura materiału opuszczającego suszarkę jest za wysoka możliwe jest jego chłodzenie za pomocą powietrza atmosferycznego.

Suszarki bębnowe dzieli się na dwa główne typy: bezprzeponowe i przeponowe [14]. Suszarki bezprzeponowe stosuje się dla materiałów trudno pyłących, które mogą kontaktować się bezpośrednio z czynnikiem suszącym. Gorący czynnik suszący powoduje odparowanie wilgoci z materiału suszonego, co powoduje znaczne obniżanie się temperatury czynnika suszącego na wyjściu z suszarki. Następnie, najczęściej gazy opuszczające suszarkę kierowane są na urządzenia odpylające, aby nie zanieczyszczały one środowiska, ponieważ część materiału drobnoziarnistego unoszone jest wraz z gazami. Zazwyczaj suszenie biomasy odbywa się współprądowo, czyli czynnik suszący i materiał suszony poruszają się w tym samym kierunku. Czynnik suszący o najwyższej temperaturze kontaktuje się z materiałem o najwyższej wilgotności. Jeżeli mamy do czynienia z przeciwnym ruchem materiału i gazu mówimy o suszeniu przeciwpładowym. W tym przypadku materiał najsuchszy ma styczność z czynnikiem najcieplejszym. Suszenie przeciwpładowe jest efektywniejsze i znacznie szybciej możemy wysuszyć tą samą ilość biomasy do podobnej zawartości wilgoci [13].

Drugim typem suszarni są suszarki przeponowe. W tego rodzaju suszarni czynnik suszący przepływa zewnętrznym płaszczem suszarki lub wewnętrznymi rurami grzejnymi. W tym przypadku, suszenie odbywa się w wyniku konwekcji i przewodzenia, a czynnikiem grzewczym może być para wodna lub gorąca woda. Dzięki temu można łatwiej utrzymać stałą temperaturę wewnątrz suszarki oraz możliwe jest suszenie materiału nieodpornego na działanie wysokich temperatur [12].

## 2.2. Suszarki pneumatyczne

Suszarki pneumatyczne zazwyczaj składają się z młyna rozdrabniającego materiał, separatora cząstek materiału, kanału pneumatyczny (suszącego), cyklonu odpylającego oraz wentylatora wyciągowego [12]. Suszarki pneumatyczne wykorzystywane są do suszenia materiałów sypkich lub krystalicznych o niewielkim uziarnieniu oraz o relatywnie szybkim procesie suszenia. W tym przypadku suszenie trwa zaledwie kilka-kilkanaście sekund. Wilgotny materiał mieszany jest w strumieniu gorącego czynnika suszącego, który pod wysokim ciśnieniem przepływa przez kanał pneumatyczny, gdzie osiąga się wysoki wskaźnik transferu masy i ciepła powodując szybkie schnięcie materiału [14]. Następnie mieszanina materiału suszonego i czynnika suszącego trafia do cyklonu, gdzie następuje odseparowanie materiału stałego i gazu. W tego typu urządzeniach stosowany jest czynnik suszący o niższych temperaturach niż w przypadku suszarń bębnowych, jednakże są one nadal wyższe niż temperatura zapłonu biomasy. Główną zaletą instalacji suszarek pneumatycznych jest ich kompaktowość oraz czas suszenia.

## 2.3. Suszarki fluidyzacyjne

Kolejnym typem suszarki są suszarki fluidyzacyjne. Ich idea działania podobna jest do pracy kotłów fluidalnych. Wilgotny sypki materiał umieszczony w złożu znajduje się na specjalnej przepuszczalnej przegrodzie. Od dołu aparatu puszczany jest czynnik suszący, który przechodzi przez przegrodę a następnie usypany na niej materiał jest przedmuchiwany przez przepływający czynnik suszący. Ruch gazu odbywa się od dołu ku górze aparatu. Osiągając odpowiedni przepływ czynnika suszącego złożo materiału wilgotnego rozluźnia się i gaz może swobodnie opływać wszystkie cząstki znajdujące się w złożu co przyczynia się do bardzo dobrego wymieszania się czynnika suszącego z materiałem suszonym. Z tego powodu w suszarniach tych występuje wysoki wskaźnik transferu masy i ciepła przez co osiagamy jednorodny i szybki stopień odparowania wilgoci z materiału. Występuje w nich 10-20-krotnie większy współczynnik wnikania ciepła do materiału w porównaniu do suszarki bębnowej [14]. Podczas suszenia materiałów lepkich lub podatnych na zbrylanie stosowane są specjalne urządzenia wibracyjne, których zadaniem jest niedoprowadzenie do takiego stanu. Głównymi wadami tego typu urządzeń są: trudności z suszeniem materiałów o znacznej wilgotności oraz o dużych rozmiarach cząstek, są stosunkowo energochłonne poprzez spore straty ciśnienia w układzie [14].

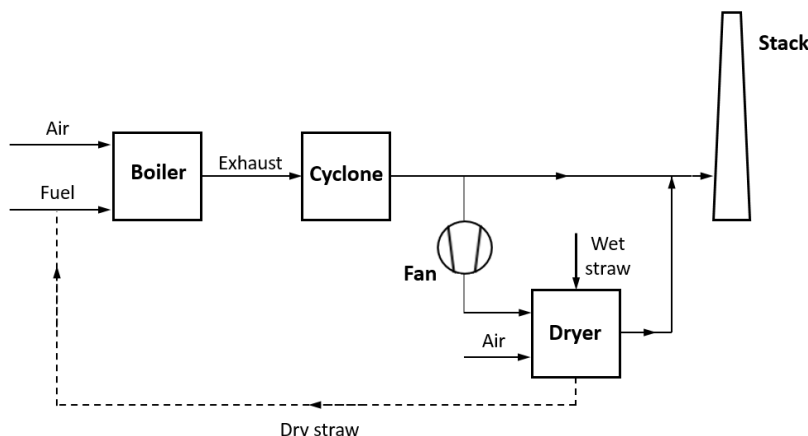
## 2.4. Suszarki taśmowe

Obecnie suszarki te służą głównie do delikatnej obróbki cieplnej produktów. Materiał suszony ułożony jest na perforowanych taśmach przez które przepływa czynnik suszący. Wilgotny materiał dostarczany jest w sposób ciągły

i zazwyczaj w trakcie całego procesu suszenia transportowany jest przez kilka sekcji suszarki. W każdej z sekcji możliwe jest ustawienie innej temperatury czynnika suszącego, jego natężenia przepływu, jak również prędkości przesuwania się taśmy [13]. Główną zaletą tego rodzaju urządzenia jest optymalne ustawienie parametrów procesu suszenia dla jak najdokładniejszego i najefektywniejszego wysuszenia materiału. Zazwyczaj suszarki taśmowe pracują w niższych temperaturach co pozwala zaoszczędzić energię, zmniejszyć zanieczyszczenie środowiska oraz zminimalizować ryzyko zapłonu biomasy podczas suszenia.

## 2.5. Suszarka na cylindryczne baloty słomy

Głównymi elementami suszarki na cylindryczne baloty słomy są komora suszarnicza, stół transportowy, wentylator tłoczący, instalacja przeciwpożarowa, zespół regulacji i kontroli parametrów pracy, układ wstępnego odpylania i separacji isker oraz układ wyprowadzenia spalin. Pełny schemat instalacji przedstawiony został na Rys. 2 oraz szczegółowo został opisany w [15,16].



Rys. 2. Schemat instalacji suszarki na cylindryczne baloty słomy [15]

Fig. 2. Schematic diagram of dryer installation for cylindrical bale of straw [15]

Ciepło wykorzystywane w trakcie suszenia pochodzi z procesu spalania biomasy w kotle. Tak spożytkowane ciepło odpadowe zwiększa sprawność całego układu oraz pomaga w uzyskaniu znacznie wydajniejszego paliwa. Proces suszenia polega na wtłaczaniu spalin o odpowiednio dobranej temperaturze w głąb balota słomy.

Ze względów bezpieczeństwa spaliny wychodzące z kotła są wstępnie odpylane w komorze osadczą z powodu unosu dużych, czasami żarzących się, żdziebeł niedopalonej słomy. Następnie, spaliny dzielone są na dwa strumienie. Część spalin wykorzystywana jest do procesu suszenia, a pozostałe kierowane są bezpośrednio do przewodu kominowego. Spaliny, które wykorzystywane

są do procesu suszenia mieszane są z powietrzem atmosferycznym dla uzyskania optymalnej temperatury medium suszącego i niepowodującego zapoczątkowaniem termicznej dekompozycji paliwa. Następnie, tak przygotowaną mieszaninę za pomocą wentylatora wtłacza się poprzez specjalnie zaprojektowaną dyszę w głąb cylindrycznego balota słomy. Opisana powyżej suszarka wykorzystywana jest do pomiarów możliwości suszenia słomy w formie cylindrycznych balotów w ramach opracowania pracy doktorskiej oraz projektów BioEcoMatic oraz BioORC. Ta dedykowana, prototypowa suszarnia słomy pozwala na wysuszenie jednego balota słomy (masa suchej słomy ok. 150 kg) o początkowej wilgotności na poziomie 45% do wilgotności 15% w czasie ok. 2-3 godzin. Czas ten potrzebny jest do spalania jednego balota słomy w kotle biomasowym. Spaliny pochodzące ze spalania tego jednego balota słomy wystarczające są do wysuszenia jednego balota słomy do wilgotności poniżej 20%.

### 3. Podsumowanie

Powyższy artykuł ma charakter przeglądowy i jego celem było przedstawienie najpowszechniejszych i najczęściej stosowanych metod suszenia biomasy. Aktualnie prowadzone są badania na suszarce opisanej w punkcie 2.5 [15,16], których celem jest usprawnienie procesu suszenia poprzez konfigurację komory suszarniczej oraz budowę układu sterującego. Trwają również prace związane z opracowaniem modelu matematycznego procesu suszenia. Obecnie przeprowadzone prace, potwierdzają słuszność założonej tezy badawczej, że możliwe jest suszenie całych balotów słomy ciepłem odpadowym w czasie nie dłuższym niż 3 godziny.

#### *Podziękowanie*

*Praca wykonana w ramach działalności statutowej WEiP, AGH: „Badania uwarunkowań zrównoważonego rozwoju energetycznego”.*

#### **Literatura**

- [1] Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council.
- [2] Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council.
- [3] Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council.
- [4] Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council.
- [5] Raport Ministra Ochrony Środowiska, „Strategia rozwoju OZE”, Warszawa, 2000.
- [6] EC BREC (now IEO-Institut Energetyki Odnawialnej), Warszawa, 2005, [http://www.ieo.pl/solcamp/downloads/szkolenie\\_dzierzawcow/Wisniewski-%20podstawy%20wykorzystania%20OZE.pdf](http://www.ieo.pl/solcamp/downloads/szkolenie_dzierzawcow/Wisniewski-%20podstawy%20wykorzystania%20OZE.pdf), {dostęp 15.09.2015}.
- [7] Guła A., Wajss P., Goryl W., Is Using Biomass for Power Generation a Good Solution? The Polish Case, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 88 NR 5a, 2012, pp. 198-203.

- [8] Guła A., Goryl W., Toward a More Environmentally Friendly Use of Biomass for Energy Purposes in Poland, *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 23, no. 4, 2014, pp. 1377-1380.
- [9] The Effect of Moisture on Heating Values, *Biomass Energy Data Book*, 2011.
- [10] Grzybek A, Słoma – Wykorzystanie w energetyce ciepłej, Wydawnictwo ITP, Falenty, 2012.
- [11] Li H., i in., Evaluation of a Biomass Drying Process Using Waste Heat from Process Industries: A Case Study, *Applied Thermal Engineering*, vol.35, 2012, pp. 71-80.
- [12] Bruce D. M., Sinclair M. S., *Thermal Drying of Wet Fuels: Opportunities and Technologies*, EPRI Licensed Material, Vancouver, 1996.
- [13] Li H., Finney K., *A Review of Drying Technologies*, EPSRC Thermal Management of Industrial Processes, Sheffield University, 2010.
- [14] Skotnicka E., *Przegląd technologii suszenia materiałów sypkich, Piece przemysłowe & kotły*, vol. XI-XII, 2011, pp. 41-44.
- [15] Goryl W., Szubel M., Filipowicz M., Processes of heat and mass transfer in straw bales using flue gasses as a drying medium, *EPJ Web of Conferences* 114, 02033 (2016), DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/201611402033>.
- [16] Goryl W., Filipowicz M., The possibility of using flue gases as a medium for straw drying, *E3S Web of Conferences* 10, 00136 (2016), DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20161000136>.

## METHODS USED IN BIOMASS DRYING

### Summary

Overwhelmingly, biomass dryers as a drying agent used gases from the biomass combustion or process steam. Air as a drying medium is generally used for a food material drying because of the costs of the installation, efficiency and size of the whole system associated with the assembly of the exhaust gas - air heat exchanger. Biomass is characterized by low bulk density and low calorific value. Moreover, it is quite problematic fuel due to the heterogeneity of the material. The usefulness of biomass for energy purposes depends on the humidity, type and composition. However, the basic problem of using biomass as a fuel is moisture content.

The main influence on it comes from the period of harvest and the conditions of its storage. Dry biomass can reach humidity even under 10%, but usually fresh biomass has more than 60% relative humidity, which is a very high value. Such kind of fuel is almost impossible to combust. The main goal of the paper is to present the most commonly used industrial methods of biomass drying. The paper will allow to assess and possible use of the best method of biomass drying. This paper present operating principles and main elements of several dryers: i) directly- and indirectly-heated rotary driers with co- and counter-current drying process, ii) flash dryers, iii) fluidized bed dryers, iv) belt dryers and v) an innovative dryer for cylindrical straw bales.

**Keywords:** biomass, dryers, drying, straw

DOI:10.7862/rb.2016.258

*Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.*

*Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.*