

**Anna Cocker-Maciejewska**

## **OBRÓBKA WSTĘPNA BIOMASY NA POTRZEBY SYSTEMÓW ENERGETYCZNYCH**

### **BIOMASS PRE-TREATMENT FOR ENERGY PURPOSES**

**Słowa kluczowe:** biomasa, obróbka wstępna, systemy energetyczne.

**Keywords:** biomass, pre-treatment, energy systems.

There are many successful co-firing installations, nevertheless various constraints can still be encountered, especially in direct co-firing mode, and with tendency to increase biomass/coal ratio, and use of low quality biomass. These constraints can include handling, storage, milling and feeding problems, deposit formation (slagging and fouling), agglomeration, corrosion, erosion, and ash utilization issues. One of the options to address them is application of biomass pre-treatment, which, by modifying biomass properties, can address problems at their source. The aim of this work is to provide an overview of possible constraints that can be encountered in systems co-firing coal with biomass, and identify biomass pre-treatment options with potential to address them.

Discussed biomass pre-treatment options include sizing, drying, washing, pelletisation, torrefaction and pyrolysis, as well as combinations of some of them.

It is not possible to define one universal option for biomass pre-treatment for co-firing purposes. It needs to be decided on an individual basis, depending on various elements such as quality of raw biomass, type of co-firing system, desired co-firing ratio, and others.

## 1. WPROWADZENIE

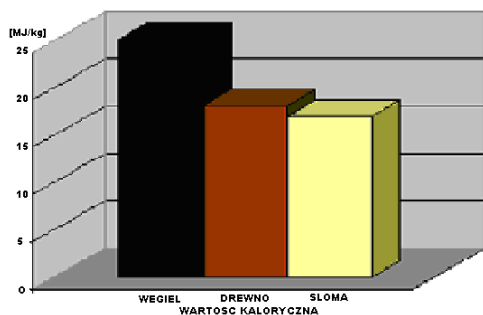
Energetyka konwencjonalna znacząco obciąża środowisko naturalne, a zasoby paliw kopalnych szybko maleją. W tej sytuacji rośnie zainteresowanie biomasą jako paliwem odnawialnym.

Wykorzystanie biomasy jako paliwa w systemach energetycznych bez wątpienia przynosi korzyści środowiskowe, jednak w przypadku instalacji opartych wyłącznie na biomase istnieją obawy dotyczące jakości paliwa oraz stabilności jego dostaw – zasoby biomasy są często rozproszone, jej ilość zależna jest od czynników pogodowych, a infrastruktura do jej dostarczania słabo rozwinięta.

Współspalanie biomasy z węglem w istniejących konwencjonalnych elektrowniach wydaje się być na dzień dzisiejszy rozwiązaniem optymalnym, w których w sąsiedztwie elektrowni znajdują się zasoby odpadowej biomasy. W instalacjach współspalania węgiel jako paliwo zasadnicze stabilizuje system, kompensując okresowe zmiany jakości i ilości biomasy [Ricketts et. al 2002]. Koszty operacyjne oraz inwestycyjne współspalania są niższe [Ricketts et. al 2002; IEA 2005] niż w systemach opartych wyłącznie na biomase. Dodatkowo współspalanie przynosi wymierne korzyści środowiskowe [Christiansen, Fock 2000; Skodras, Grammelis, Kakaras, Sakellariopoulos 2004; Hartmann, Kaltschmitt 1999; Malkki, Virtanen 2003; Benetto, Popovici, Rousseaux, Blondin 2004; Benetto, Rousseaux, Blondin 2004; Heller, Keoleian, Volk 2003; Heller, Keoleiana, Mannb, Volk 2004].

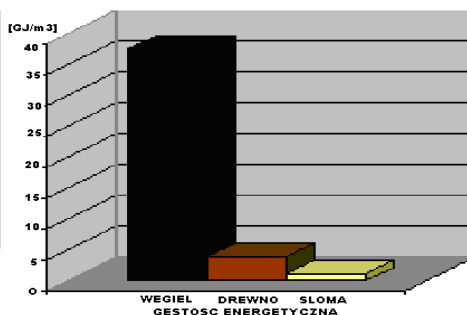
Istnieje wiele pozytywnych doświadczeń z instalacjami współpalającymi biomasę z węglem [Baxter 2005]. Nadal jednak istnieje wiele przeszkód utrudniających rozpowszechnianie współspalania. Należą do nich problemy logistyczne (kosztowny transport i magazynowanie biomasy) oraz problemy techniczne, takie jak: współmielenie i podawanie paliwa do kotła, tworzenie się osadów na powierzchniach wymienników ciepła i elementach kotła (żużłowanie, osady sypkie), spiekanie, oraz korozja [Baxter 2005; Karki et al 2005; EUBION 2001; Jarvinen, Alakangas 2001]. Problemy te potęgują się wraz ze wzrostem udziału biomasy (zwłaszcza przy korzystaniu z biomasy o niskiej jakości w bezpośrednich systemach współspalania) i mogą negatywnie wpływać na funkcjonowanie instalacji. Większość tych problemów jest spowodowana tym, że w porównaniu z węglem biomasa ma mniej korzystne właściwości jako paliwo.

W porównaniu do węgla, surowa biomasa ma zwykle wysoką wilgotność obniżającą jej wartość opałową, oraz niską gęstość nasypową (gęstość energetyczną). Podczas gdy wartość opałowa biomasy wynosi około 50% takiej samej masy węgla (rys. 1), jej gęstość energetyczna to zaledwie 2–7% wartości dla węgla (rys. 2). Dodatkowo biomasa jest paliwem o własnościach hydrofilowych, słabych właściwościach przemiałowych [Baxter 2005], potencjalnie wysokiej zawartości chloru (zwłaszcza w słomie), a jej popioły mają niską temperaturę top-



**Rys. 1.** Średnia wartość opałowa węgla i biomasy [MJ/kg]

**Fig. 1.** Average calorific values of coal and biomass [MJ/kg]



**Rys. 2.** Średnia gęstość nasykowa (zawartość energii w jednostce objętości) węgla i biomasy [GJ/m³]

**Fig. 2.** Average energy density (energy content per unit of volume) of coal and biomass [GJ/m³]

nienia, co powoduje formowanie osadów na elementach kotła i wymiennikach ciepła.

Stosowane są różne techniki rozwiązywania powyższych problemów, takie jak zdmuchiwanie osadów, wymiana skorodowanego sprzętu, oczyszczanie złoża fluidalnego, dodawanie związków chemicznych do procesu, wprowadzanie elementów dedykowanej infrastruktury. Jednak większość tych sposobów likwiduje jedynie zaistniałe skutki problemów.

Modyfikowanie niekorzystnych właściwości surowej biomasy przez jej obróbkę wstępną jest opcją likwidującą problemy u ich źródła. W niniejszej pracy krótko scharakteryzowano różne rodzaje obróbki wstępnej opisane w literaturze i analizując jakościowo ich skuteczność w rozwiązaniu problemów występujących w systemach współspalania.

## 2. PRZEGLĄD SPOSOBÓW OBRÓBKĘ WSTĘPNEJ BIOMASY

**Rozdrabnianie.** Rozdrabnianie biomasy przez cięcie czy mielenie jest podstawowym i bardzo popularnym sposobem obróbki wstępnej. Rozdrabnianie stosuje się często przed transportem biomasy, w celu zwiększenia jej gęstości nasykowej i obniżenia kosztów transportu. Jednak przechowywanie rozdrobnionej biomasy może mieć negatywne skutki ze względu na podwyższoną aktywność mikrobiologiczną materiału, która skutkuje utratą suchej masy, emisjami gazów cieplarnianych ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) i nagrzewaniem się hałdy, co w skrajnych wypadkach może prowadzić do samozapłonu [Wihersaari 2005]. Dlatego optymalnym wyj-

ściem, niestety nie zawsze możliwym ze względów organizacyjnych, jest rozdrobnienie biomasy bezpośrednio przed jej transportem, a następnie zużycie jej jako paliwa w możliwie najkrótszym czasie.

**Suszenie.** Ten sposób obróbki wstępnej biomasy wpływa korzystnie na jej wartość energetyczną i redukuje problemy związane z jej przechowywaniem (takie, jak straty suchej masy, procesy mikrobiologiczne powodujące emisje czy samozapłon, rozwój grzybów). Suszenie w suszarniach jest procesem kosztownym i wymaga rozdrobnienia biomasy (patrz 2.1). Dlatego w miarę możliwości korzystne jest suszenie naturalne na świeżym powietrzu, jednak wadą takiego rozwiązania jest ryzyko nieprzewidywalnych zmian pogody.

**Balowanie biomasy** (rys. 3). Balowanie zwiększa gęstość energetyczną biomasy pozytywnie wpływając na koszty jej transportu i przechowywania oraz zmniejsza zawartość wilgoci, przez co umożliwia łatwiejsze składowanie biomasy [Livingston 2005]. W formie balotów biomasa może być bezpośrednio użyta praktycznie jedynie w instalacjach z kotłami rusztowymi. W instalacjach wyposażonych w inne kotły wymagana jest jej dalsza obróbka. (np. dodatkowe rozdrobnienie).

**Brykietowanie biomasy** (rys. 4). Brykietowanie zwiększa gęstość energetyczną i polepsza właściwości przemiałowe biomasy, dzięki czemu możliwe jest jej współmielenie z węglem. Problemem są właściwości hydrofilowe brykietów. Przechowywanie brykietów w wilgotnych pomieszczeniach może doprowadzić do degradacji biologicznej oraz rozpadu ich struktury, dlatego do ich składowania powinny być zapewnione specjalne warunki.

**Płukanie biomasy.** Nową metodą obróbki wstępnej biomasy, usuwającą związki alkaliczne jest płukanie. Do płukania może być używana zwykła woda [Jenkins, Bakker, Wei 1996; Davidsson, Koresgren, Pettersson, Jaglid 2001].



Rys. 3. Baloty ze słomy

Fig. 3. Straw bales



Rys. 4. Biomasa w formie brykietów

Fig. 4. Biomass briquettes

W rezultacie płukania obniża się właściwości korozyjne biomasy, formowanie osadów w złożu, a w konsekwencji ogranicza się zużywanie urządzeń. Płukanie jest szczególnie przydatne w przypadku słomy, ze względu na wysoką zawartość chloru i substancji alkalicznych. Negatywną stroną procesu jest zwiększanie wilgotności biomasy, co w konsekwencji wymaga (często kosztownego) suszenia.

**Peletyzacja biomasy.** Taka metoda obróbki wstępnej biomasy zwiększa jej gęstość energetyczną, przez co obniżeniu ulegają koszty transportu, umożliwia mieszanie tak przetworzonego paliwa razem z węglem w instalacjach z automatyczną linią podawania, mielenia, itp., polepsza właściwości przemiałowe, umożliwia też zwiększenie udziału współspalanego paliwa (co jest istotne przy ograniczonej wielkości kotła). Problemem jest wrażliwość pelet na wodę – po kontakcie z wodą mogą pęcznieć i rozpadać się (rys. 5), więc podobnie jak brykiety wymagają specjalnych warunków składowania. Pelety są aktualnie najpopularniejszą, najbardziej pożądaną i uniwersalną formą biomasy, stosowaną zarówno w dużych systemach współspalania, jak i małych, lokalnych kotłach na biomasę [Bergman, Boersma, Zwart, Kiel 2005].



**Rys. 5.** Biomasa w formie peletów (na lewo) oraz pelety po ekspozycji na wilgoć (po prawej)

**Fig. 5.** Biomass pellets (left) and pellets after exposition to moisture (right)

**Karbonizacja (torrefaction).** Proces karbonizacji termo-chemicznej przeprowadzany jest w warunkach beztlenowych, w temperaturze około 200–300°C [ECN 2004; Bergman, Boersma, Zwart, Kiel 2005]. Produktem tego procesu jest substancja stała, zwana często karbonizatem (char). Poprzez karbonizację biomasa uzyskuje właściwości upodabniające ją do węgla: własności hydrofobowe, dzięki którym przechowywanie biomasy jest bezpieczne i pozbawione ryzyka degradacji biologicznej oraz znacznie polepszone właściwości przemiałowe, dzięki którym zredukowane jest zużycie energii na mielenie. Ograniczeniem karbonizacji jest fakt, że nie zwiększa ona gęstości energetycznej paliwa, w związku z tym w praktyce jest wskazane połączenie karbonizacji z peletyzacją. Pelety karbonizowane (torrefied pellets) mają wysoką gęstość energetyczną, są odporne na wilgoć

i nie wymagają specjalnych warunków składowania [Bergman 2005]. Jednak nawet takie zaawansowane przetworzenie biomasy nie likwiduje problemów związanych z korozją czy tworzeniem się osadów. Ze względu na wysokie koszty karbonizacja nie jest obecnie stosowana na skalę przemysłową.

**Szybka piroliza.** Metoda ta polega na termicznej dekompozycji biomasy w temperaturze 450–550°C, bezpośrednio do płynnej postaci, pospolicie nazywanej olejem pirolitycznym, który ma bardzo wysoką gęstość energetyczną. Ze względu na płynną postać paliwa dedykowana infrastruktura jest konieczna do jego transportu i przechowywania, a także podawania. Alternatywą dla szybkiej pirolizy jest wolna piroliza, która w literaturze występuje w połączeniu z płukaniem karbonizatu, będącego produktem wolnej pirolizy [Jensen, Sander, Dam-Johansen 2001]. Dzięki płukaniu karbonizat jest pozbawiony związków chloru i potasu i może być współspalony z węglem bez zagrożenia korozyjnego.

### 3. REZULTATY

W tabeli przedstawiono ocenę wszystkich omówionych sposobów obróbki wstępnej biomasy i ich potencjał w zapobieganiu problemom w systemach współspalania z węglem.

**Tabela** Rola obróbki wstępnej w zapobieganiu typowym problemom w systemach energetycznych wykorzystujących biomasę

**Table** The role of various measures in mitigating common problems associated with co-firing systems

Wyszczególnienie	Kosztowny transport, przechowywanie	Straty masy (energii) podczas przechowywania	Zagrożenia dla bezpieczeństwa podczas przechowywania	Problemy ze współmieleniem	Problemy z użytkowaniem istniejącej infrastruktury	Korozja	Formacja depozytów, aglomeracja
Suszenie	o	++	++	x	x	o	o
Rozdrabnianie	+	—	—	+	+	o	o
Balotowanie	++	+	+	x	x	o	o
Brykietowanie	+++	++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>	++	+	o <sup>2</sup>	o <sup>2</sup>
Peletyzacja	+++	++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>	++	++	o <sup>2</sup>	o <sup>2</sup>
Torefakcja	o	+++	+++	+++	+	+	o
Torefakcja + peletyzacja	+++	+++	+++	+++	+++	+	o <sup>2</sup>
Płukanie	o	o	o	o	o	+++	+++
Szybka piroliza	+++ <sup>3</sup>	+++ <sup>3</sup>	+++ <sup>3</sup>	+++ <sup>3</sup>	+++ <sup>3</sup>	—	+
Piroliza + płukanie	+++	x	x	+++	+++	+++	+++

- (+) niewielka poprawa
- (++) znaczna poprawa
- (+++) bardzo duża poprawa
- (—) negatywny wpływ
- (o) bez znaczenia
- (x) brak danych

- <sup>1</sup> Jeżeli odpowiednie warunki przechowywania są zapewnione.
- <sup>2</sup> Chyba, że dodatki podwyższające punkt topnienia są dodane w procesie.
- <sup>3</sup> Paliwo w formie płynnej, wymagana jest dedykowana infrastruktura (przechowywanie, transport).

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Rodzaj i nasilenie problemów w instalacjach współspalania zależą od jakości surowej biomasy, proporcji, w jakiej jest dodawana do węgla, rodzaju systemu spalania (lub gazyfikacji), właściwości węgla i wielu innych czynników. Dlatego nie istnieje jedna uniwersalna metoda obróbki wstępnej i decyzja o jej rodzaju musi być podejmowana indywidualnie dla każdej instalacji.

Przyszłościowymi technologiami obróbki wstępnej, aktualnie znajdującymi się na etapie demonstracyjnym, są karbonizacja oraz piroliza – zarówno szybka, jak i wolna – połączone z płukaniem karbonizatu, jednak aktualnie koszty stosowania tych metod nie pozwalają na ich upowszechnienie.

Peletyzacja jest obecnie jedną z najbardziej popularnych form obróbki wstępnej biomasy. Jak wynika z tabeli 1 peletyzacja gwarantuje produkt o wysokiej gęstości energetycznej, który może być używany razem z węglem w istniejącej infrastrukturze węglowej. Jeżeli biomasa poddana jest peletyzacji przeprowadzonej z użyciem dodatków podwyższających temperaturę topnienia (co jednak znacznie zwiększa koszt procesu) może być paliwem niestwarzającym większych problemów technicznych.

Należy pamiętać, że wszystkie metody obróbki wstępnej wymagają dodatkowej energii do ich przeprowadzenia oraz dodatkowych nakładów finansowych. Pomimo tego obróbka wstępna jest często stosowana, ponieważ przynosi wymierne korzyści ekonomiczne, takie jak mniejsze koszty utrzymania i remontów czy też możliwość korzystania z istniejącej infrastruktury węglowej. Zastosowanie najtańszej (niskiej jakości) biomasy, która negatywnie wpływa na wiele parametrów procesu, może być w wielu przypadkach nieopłacalne.

\* \* \*

Niniejsze opracowanie wykonane zostało w ramach projektu doktorskiego w Instytucie Energii Wspólnotowego Centrum Badawczego Komisji Europejskiej w Petten, Holandia, w ramach jednostki Ocena Systemów Energetycznych.

#### PIŚMIENNICTWO

Ricketts B., et. al 2002: Technology Status Review of waste/Biomass Co-Gasification with Coal, Ichem Fifth European Gasification Conference, 8–10 April 2002, Noordwijk, TheNetherlands.

IEA 2005: Clean Coal Centre, Fuels for biomass cofiring, ISBN 92-9029-418-3.

Christiansen H.F., Fock M.W. 2000: LCA of Procurement and Conversion of Biomass and Fossil Fuels – used for Energy Production in Denmark 1997, poster presented

- at the First World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, June 5–9, 2000.
- Skodras G., Grammelis P., Kakaras E., Sakellariopoulos G.P. 2004: Evaluation of the environmental impact of waste wood co-utilization for energy production, *Energy* 29 (2004), 2181–2193.
- Hartmann D., Kaltschmitt M. 1999: Electricity generation from solid biomass via co-combustion with coal. Energy and emission balances from a German case study, *Biomass and Bioenergy* 16 (1999), 397–406.
- Malkki H., Virtanen Y. 2003: Selected emissions and efficiencies of energy systems based on logging and sawmills residues, *Biomass and Bioenergy* 24 (2003), 321–327.
- Benetto E., Popovici E-C., Rousseaux P., Blondin J. 2004: Life cycle assessment of fossil CO<sub>2</sub> emissions reduction scenarios in coal-biomass based electricity production, *Energy Conversion and Management* 45 (2004), 3053–3074.
- Benetto E., Rousseaux P., Blondin J. 2004: Life cycle assessment of coal by-products based electric power production scenarios, *Fuel* 83 (2004), 957–970.
- Heller M.C., Keoleian G.A., Volk T. 2003: A. Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system, *Biomass and Bioenergy* 25 (2003), 147–165.
- Heller M.C., Keoleiana G. A., Mannb M. K., Volk T. A. 2004: Life cycle energy and environmental benefits of generating electricity from willow biomass, *Renewable Energy* 29 (2004), 1023–1042.
- Baxter L. 2005: Biomass-coal co-combustion: opportunity for affordable renewable energy, *Fuel* 84 (2005), 1295–1302.
- Karki J. et al 2005: The performance and operation economics of co-fired biomass boilers, *Bioenergy in Wood Industry 2005 – Book of Proceedings*, p.373–380, ISBN 952-5135-31-4.
- EUBION (European Bioenergy Networks), ALTENER, Biomass co-firing – an efficient way to reduce greenhouse gas emissions.  
[http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/bioenergy/cofiring\\_eu\\_bionet.pdf](http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/bioenergy/cofiring_eu_bionet.pdf)
- Jarvinen T., Alakangas E. (VTT Energy) 2001: Cofiring of biomass – evaluation of fuel procurement and handling in selected existing plants and exchange of information (COFIRING), Altener Programme.
- Wihersaari M. 2005: Evaluation of greenhouse gas emission risks from storage of wood residue, *Biomass and Bioenergy* 28 (2005), 444–453.
- Livingston W.R. 2005: A review of the recent experience in Britain with the co-firing of biomass with coal in large pulverised coal-fired boilers, Mitsui Babcock, Renfrew, Scotland, Presented at IEA Exco Workshop on Biomass Co-firing, Copenhagen.  
[http://www.irishphotonews.com/Images/StockPhotography/straw\\_bales.jpg](http://www.irishphotonews.com/Images/StockPhotography/straw_bales.jpg).



<http://images.google.com/imgres?imgurl=http://www.nishantbioenergy.net/images/briq1.jpg&imgrefurl=http://www.nishantbioenergy.net/biomass.htm&h=232&w=350&sz=18&tbnid=lyOhT esoeVcJ:&tbnh=76&tbnw=116&hl=en&start=2&prev=/images%3Fq%3Dbiomass%2Bbriquettes%26svnum%3D10%26hl%3Den%26lr%3D%26sa%3DN>.

Jenkins B.M., Bakker R.R., Wei J.B. 1996: On the properties of washed straw, Biomass and Bioenergy, Vol.10, No.4, pp. 177–200.

Davidsson K.O., Koresgren J.G., Pettersson J.B.C., Jaglid U. 2001: The effects of fuel washing techniques on alkali release from biomass, Fuel 81 (2002), 137–142.

Bergman P.C.A., Boersma A.R., Zwart R.W.R., Kiel J.H.A. 2005: Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations “BIOCOAL”, ECN, ECN-C-05-013.

ECN 2004: Biomass pre-treatment and feeding, <http://www.ecn.nl/biomassa/research/central/pretreatment.en.html>.

Bergman P.C.A., Boersma A.R., Zwart R.W.R., Kiel J.H.A. 2005: Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations “BIOCOAL”, ECN, ECN-C-05-013.

Bergman P.C.A. 2005: Combined torrefaction and pelletisation, The TOP process, ECN-C-05-073.

Jensen P.A., Sander B., Dam-Johansen K. 2001: Pretreatment of straw for power production by pyrolysis and char wash, Biomass & Bioenergy, 20 (2001), 431–446.

***Mgr inż. Anna Cocker-Maciejewska***  
***Komisja Europejska, Wspólnotowe Centrum Badawcze, Instytut Energii***  
***Westerduinweg 3, 1755LG, Petten, Holandia***

