

Barbara Michalska<sup>1</sup>

### **BIOMASA - PRODUKCJA ENERGII SPOSOBEM NA UTYLIZACJĘ ODPADÓW**

Bezpieczeństwo energetyczne kraju zapewnia nie tylko liczba dostawców surowców kopalnych, ale przede wszystkim dywersyfikacja źródeł oraz rozwój technologii pozyskiwania energii. W przyjętej oficjalnie w 2005 r. „Polityce energetycznej Polski do 2025 roku” wśród priorytetów wymieniono m.in. rozwój energetyki odnawialnej oraz wprowadzenie mechanizmów rynkowych w energetyce polskiej. Na terenie Polski występuje duże zróżnicowanie potencjału poszczególnych źródeł odnawialnych. Uwagę należy zwrócić na rozwój technologii opartych na biomasie oraz wietrze i wodzie. W bilansie energetycznym kraju spośród OZE największy udział, bo 20,94%, ma biomasa<sup>2</sup>. Należy stale podkreślać ekologiczne znaczenie wzrostu udziału energii odnawialnej w całkowitej produkcji energii na świecie. Wybór technologii zależy przede wszystkim od rodzaju i stopnia przetworzenia dostępnej biomasy oraz możliwości dalszego wykorzystania pozyskanej energii. Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie zbieżności w rozwoju technologii energetycznych opartych na pozyskiwaniu i przetwarzaniu biomasy oraz ekologicznych – utylizacji odpadów.

Biomasa to substancja organiczna pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, która ulega biodegradacji. Najczęściej jest to drewno i odpady drzewne, suche rośliny: słoma i ziarna zbóż, specjalne rośliny energetyczne, osady ściekowe (z oczyszczalni ścieków) oraz odpady pochodzenia organicznego, pochodzące z upraw rolniczych i hodowli zwierzęcej. Z 1 ha użytków rolnych zbiera się rocznie około 10-20 ton biomasy. Rolnictwo produkuje obecnie około 25 mln ton słomy i siana. W lasach państwowych rocznie pozyskuje się około 2 mln m<sup>3</sup> drewna, drugie tyle pozostaje jako odpad drzewny w lasach. Większość biomasy nie jest wykorzystywana. W miarę zmniejszania się zasobów naturalnych można stosować uprawy roślin energetycz-

<sup>1</sup> Krakowska Szkoła Wyższa im. Andrzeja Frycza Modrzewskiego.

<sup>2</sup> B. Michalska, *Odnawialne źródła energii w polskiej gospodarce energetycznej*, [w:] *Współczesne wyzwania zarządzania organizacjami*, red. A. Chodyński, Kraków 2006.

nych, czyli szybko rosnących, najczęściej są to gatunki wierzby krzewiastej, topoli, robinii akacjowej. W Polsce istnieje już kilkanaście plantacji o łącznej powierzchni około 5-10 tys. ha. Uprawa roślin energetycznych, ze względu na niskie wymagania glebowe, umożliwia racjonalne wykorzystanie mało urodzajnych gleb i nieużytków. Ilość pozyskiwanej biomasy wzrosła dzięki obowiązującemu od stycznia 2007 r. w krajach Unii Europejskiej systemowi pomocy dla rolników prowadzących plantacje roślin energetycznych<sup>3</sup>. Biomasa jest wykorzystywana głównie do produkcji energii cieplnej w prostym procesie spalania. Wartości opałowe składników biomasy wynoszą średnio: słoma 14,3 MJ/kg, trzcina 14,5 MJ/kg, drewno opałowe 13 MJ/kg. Dla porównania średnia wartość opałowa węgla kamiennego wynosi 25 MJ/kg (tabela 2). Pod względem energetycznym 2 tony suchej biomasy równoważne są 1 tonie węgla kamiennego. Rolnictwo i leśnictwo rocznie produkuje około 14 mln ton surowca energetycznego o wartości opałowej węgla.

W procesie spalania substratów organicznych powstaje gaz zawierający CO<sub>2</sub> i odpady stałe w postaci popiołu, który jest bardzo dobrym nawozem, wykorzystywanym w rolnictwie. Emisja CO<sub>2</sub> jest równa ilości tego związku pobranej przez rośliny w czasie wzrostu, nie zwiększa więc stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze. Wydzielające się ilości SO<sub>2</sub> są dużo mniejsze niż w trakcie spalania paliw kopalnych.

W ciepłownictwie biomasę wykorzystuje się w postaci:

- rozdrobnionej – drewno: zrębki, ścinki, wióry, trociny; i słomę: sieczka,
- skompaktowanej – sprasowane kostki, brykiety.

Różnorodność substratu wymusza różne rozwiązania technologiczne. Kotły do spalania biopaliw różnią się od tradycyjnych kotłów węglowych. Wyposażone są w ślimakowy lub taśmowy podajnik biomasy. Wymagają też więcej miejsca na składowanie opału. Kotły do spalania słomy i odpadów drewnianych mają nieco inne konstrukcje. Na rynku jest obecnie już kilkunastu producentów zaopatrujących w kotły na biopaliwa stałe do instalacji ciepłych gospodarstwa domowe oraz mniejsze zakłady głównie przemysłu rolnego i drzewno-celulozowego. Elektrownie i elektrociepłownie zawodowe wykorzystują biomasę w procesie współspalania z węglem. Wykorzystywane są zrębki drewna z lasów państwowych i upraw (m.in. w elektrowniach: Opole, Siersza, Łaziska, Połaniec Ostrołęka, Jaworzno III) oraz mączka kostna (Jaworzno II). W kilku następnych technologicznie współspalania są wdrażane. Współspalanie wymaga przygotowania mieszanki biomasy z węglem, co podwyższa koszty produkcji.

Innym sposobem wykorzystania biomasy jest zgazowanie w wysokotemperaturowych procesach pirolizy i zgazowania. Piroliza to proces rozkładu termicznego substancji, prowadzony poprzez długotrwałe poddawanie ich działaniu wysokiej temperatury, ale bez kontaktu z tlenem i innymi czynnikami utleniającymi. Zwykle w trakcie pirolizy bardziej złożone związki chemiczne wchodzące w skład pirolizowanej substancji ulegają rozkładowi do prostszych związków o mniejszej masie cząsteczkowej. W niektórych przypadkach jednak na skutek pirolizy powstają spieki, będące prostymi chemicznie, ale tworzącymi sieć przestrzenną materiałami o wielu

<sup>3</sup> D. Malinowski, *Klimat dla zielonej energii*, „Miesięcznik Gospodarczy Nowy Przemysł”, [on-line], [www.energetyka.wnp.pl](http://www.energetyka.wnp.pl) – 20 VI 2007.

interesujących własnościach fizycznych. Mechanizm przemian chemicznych zachodzących w trakcie pirolizy jest często bardzo złożony, a ze względu na naturę tego procesu trudno jest je dokładnie badać. Zgazowanie jest prowadzone w bardzo wysokiej temperaturze rzędu 1000°C, w obecności powietrza lub pary wodnej. Polega na przemianie substancji organicznych stałych i ciekłych w gaz, będący mieszaniną metanu, wodoru i tlenku węgla. Zgazowanie daje wysokowartościowy półprodukt w postaci gazu syntezowego przy znacznej neutralizacji związków szkodliwych dla środowiska.

Procesom pirolizy i zgazowania można poddawać biomasę wraz ze szlamami z oczyszczalni ścieków oraz odpady komunalne i większość nietoksycznych odpadów przemysłowych. Warunki reakcji zgazowania z pirolizą, głównie wysoka temperatura i obecność wytworzonego wodoru, sprzyjają depolimeryzacji tworzyw sztucznych, dioksyn i furanów<sup>4</sup>. Zawarty w gazie siarkowodor jest desorbowany i przetwarzany metodą Clausa na prawie czystą siarkę. W efekcie tej technologii otrzymuje się pokaźne ilości gazu syntezowego zawierającego głównie CO + H<sub>2</sub>. Gaz syntezowy zawiera: 15-55% CO, 12-40% H<sub>2</sub>, 0,5-8% CH<sub>4</sub>, 8-28% CO<sub>2</sub>, resztę stanowi azot. Zawartość azotu można zmniejszyć przez zastosowanie w procesie zgazowania prawie czystego tlenu i pary wodnej. Skład gazu zależy od składu surowca, temperatury, ciśnienia, granulacji substratów oraz czasu przebywania w reaktorze. Zgazowanie można prowadzić w złożu stacjonarnym lub fluidalnym<sup>5</sup>. W przypadku tlenowego zgazowania szlamów proces przebiega pod ciśnieniem 5 MPa, wymaga to wstępnego przygotowania substratu, aby podajnik ślimakowy mógł równomiernie i bez wstępnego przenikania gazu włączyć go do generatora. Dlatego szlamy trzeba alternatywnie wysuszyć do 95% mas. i zmieszać z jakimkolwiek odpadowym ciężkim olejem węglowodorowym albo podsuszyć do 75-60% mas., wtedy jednak będzie znacznie większe zużycie tlenu, co odbije się negatywnie na kosztach eksploatacyjnych instalacji. Najwyższą sprawność omawianej technologii uzyskamy poprzez wykorzystanie otrzymanych półproduktów w przemyśle petrochemicznym. Jeżeli ze względu na odległość jest to niemożliwe, należy wykorzystać je w elektrociepłowniach z turbinami gazowo-parowymi. Technologia zgazowania jest obecnie intensywnie rozwijana, ponieważ jest wyjątkowo korzystna w przypadku wykorzystania odpadów jako paliwo. Wartość opałowa gazu syntezowego otrzymanego w procesie zgazowania powietrzem wynosi 4-7 MJ/m<sup>3</sup>, przy zastosowaniu tlenu z parą wodną 10-20 MJ/m<sup>3(6)</sup>. Gaz powstały na skutek zgazowania jest wykorzystywany do produkcji energii cieplnej i elektrycznej. Kotłownie gazowe na tradycyjny gaz ziemny można zastąpić systemem zgazowującym. W komorze zgazowania paliwo zamienia się w kaloryczny gaz, który jest następnie spalany w komorze spalania. Gorące spaliny mogą być także wykorzystane we wszelkiego typu suszarniach. Stosując powyższe rozwiązania technologiczne, można uzyskać równocześnie wysokie efekty ekologiczne i ekonomiczne. Zgazowanie pozwala na efektywniejszą niż w przy-

<sup>4</sup> P. Mastalerz, *Chemia organiczna*, Warszawa 1986.

<sup>5</sup> W. Kotowski, *Parowy kocioł pyłowy elektrociepłowni sprzężony ze zgazowaniem mieszaniny biomasy i odpadów*, „Energia Gigawat” 2002.

<sup>6</sup> W. Warowny, K. Kwiecień, *Wykorzystanie biomasy do ogniw paliwowych*, „Czysta Energia” 2006, nr 10, [on-line], [www.abrys.pl](http://www.abrys.pl) – 10 X 2007.

padku klasycznego spalania utylizację odpadów, doprowadzając do redukcji masy odpadów o ok. 80%. Jest to proces, którym można skutecznie sterować, zachowując wszelkie normy środowiskowe.

Tabela 1. Skład gazu syntezowego otrzymywanego w procesie zgazowania koksu z pirolizy odpadów komunalnych oraz szlamów z oczyszczalni ścieków

Składniki gazu, % objętościowe	Koks z pirolizy odpadów komunalnych	Szlamy z oczyszczalni ścieków
H <sub>2</sub>	33,4	38,6
CO	54,0	30,8
CO <sub>2</sub>	11,6	28,6
H <sub>2</sub> S	0,4	0,6
N <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub>	0,6	1,4

Źródło: W. Kotowski, *Parowy kocioł pyłowy elektrociepłowni sprzężony ze zgazowaniem mieszaniny biomasy i odpadów*, „Energia Gigawat” 2002.

Nadający się do celów energetycznych gaz powstaje także w procesie fermentacji beztlenowej biomasy. W złożonym procesie biochemicznym substancje organiczne rozkładane są przez bakterie na związki proste – głównie metan i dwutlenek węgla. W czasie procesu fermentacji beztlenowej około 60% substancji organicznej jest zamieniane w biogaz. Nieoczyszczony biogaz zawiera ok.: 50-75% metanu, 25-45% dwutlenku węgla, 0-0,3% azotu, 1-1,5% wodoru, 0-0,3% siarkowodoru i do 0,5% tlenu. Biogaz może być wykorzystany do celów użytkowych, głównie energetycznych lub w innych procesach technologicznych. Wartość opałowa waha się w granicach 17-27 MJ/m<sup>3</sup>. Wydajność procesu fermentacji zależy od temperatury i składu substratu. Prawidłowa temperatura procesu wynosi 30-35°C dla bakterii mezofilnych i 50-60°C dla bakterii termofilnych. Na utrzymanie odpowiednich warunków reakcji zużywa się ok. 20% produkowanego biogazu<sup>7</sup>. Typowe przykłady wykorzystania biogazu to: produkcja energii elektrycznej w silnikach iskrowych lub turbinach, wytwarzanie energii cieplnej w przystosowanych kotłach gazowych, produkcja energii elektrycznej i cieplnej w jednostkach skojarzonych, wykorzystanie gazu jako paliwa do silników pojazdów, wykorzystanie gazu w procesach technologicznych, np. w produkcji metanolu. W Polsce biogazownie powstają od połowy lat 80. XX w. Ze względu na źródło substratu, jakim jest biomasa, optymalne jest umiejscawianie instalacji bezpośrednio przy oczyszczalniach ścieków komunalnych i niektórych przemysłowych, przy gospodarstwach hodowlanych, produkujących duże ilości odchodów zwierzęcych, oraz na wysypiskach komunalnych.

Jedną z pierwszych w Polsce instalacji energetycznego wykorzystania biogazu z osadu w oczyszczalni ścieków powstała w 1998 r. w Inowrocławiu. Wytworzony w zamkniętej ogrzewanej komorze fermentacyjnej biogaz oczyszcza się wstępnie

<sup>7</sup> www.bioenergia.eco.pl – 13 IV 2007.

z zanieczyszczeń stałych w płuczce wodnej oraz z siarkowodoru w odsiarczalni. Biogaz jest spalany w dwóch silnikach gazowych polskiej produkcji; energię elektryczną i ciepłą (z chłodzenia spalin i wody silnikowej) wykorzystuje się na potrzeby własne oczyszczalni ścieków. Zainstalowana moc elektryczna wynosi 320 kW, ciepła 540 kW. Ilość wytwarzanej energii elektrycznej blisko 1,3 mln kWh/rok, ciepłej ok. 5,5 tys. GJ/rok. Podobne instalacje pracują obecnie m.in. w Elblągu, Częstochowie, Olsztynie, Zamościu. W Polsce zainstalowano ponad 20 biogazowni w miejskich oczyszczalniach ścieków.

Podobnie powstaje biogaz w procesie biologicznego rozkładu odpadów komunalnych w biogazowniach zainstalowanych na wysypiskach. Wartość opałowa gazu wysypiskowego wynosi ok. 22 MJ/m<sup>3</sup>, jest proporcjonalna do zawartości metanu<sup>8</sup>. Jedną z pierwszych instalacji na gaz wysypiskowy zainstalował MPEC w Braniewie. Wykorzystując szwedzką technologię, na wysypisku miejskim zainstalowano system drenażowy z kilkoma miejscami poboru bogatego w metan gazu wysypiskowego, który powstaje samoistnie jako rezultat rozkładu frakcji organicznej odpadów komunalnych przez kolonie bakterii. Gaz wysypiskowy, pompowany przez rurociąg ok. 1 km do ciepłowni miejskiej, spalany jest w konwencjonalnym kotle gazowym o maksymalnej mocy 1,3 MW. W 1999 r. w Radomiu także uruchomiono elektrownię zasilaną gazem wysypiskowym. W układzie 44 pionowych studni rozmieszczonych na 12-hektarowym składowisku jest pozyskiwany gaz, który się wykorzystuje do produkcji energii elektrycznej i ciepłej. W sezonie grzewczym uzyskana energia służy do ogrzewania budynków administracyjnych i gospodarczych. Ciepłownia wytwarza 1 MW mocy elektrycznej i ciepłej. Podobne rozwiązania technologiczne działają na wysypisku w Szadółkach koło Gdańska, w Toruniu i Krakowie. Przy składowisku odpadów w Krakowie działają dwa bloki dające ponad 2 MW mocy elektrycznej i ciepłej. Nadwyżki energii ciepłej i elektrycznej odprowadzane są do sieci miejskiej.

Szacuje się, że w obecnie na świecie działa co najmniej 800 instalacji do energetycznego wykorzystania gazu wysypiskowego. W Europie najbardziej zaawansowana jest pod tym względem Wielka Brytania, gdzie do tej pory moc elektrowni pracujących na gazie wysypiskowym wynosiła ponad 489 MW. W Polsce działa ponad 40 instalacji bazujących na gazie wysypiskowym. Tak otrzymane paliwo służy głównie do produkcji energii ciepłej w kotłach gazowych oraz energii elektrycznej w instalacjach skojarzonych, energia zużywana jest najczęściej na potrzeby własne producenta. W 1999 r. całkowita moc biogazowych instalacji energetycznych wynosiła około 19 MW, a ciepłych około 27 MW. Zastosowanie biogazu w komunalnej sieci gazowej jest możliwe tylko po oczyszczeniu biogazu do prawie czystego metanu, co jest bardzo kosztowne. W Polsce nie stosuje się dostarczania biogazu do sieci gazowej<sup>9</sup>. Poza źródłem energii zainstalowane na wysypiskach biogazownie pełnią funkcje utylizacyjne szkodliwych dla środowiska gazów wysypiskowych, których emisja do środowiska w świetle obowiązujących przepisów jest niedopuszczalna.

<sup>8</sup> J. Dudek, *Wykorzystanie biogazu ze składowisk odpadów komunalnych do celów energetycznych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej” 2003, z. 155, *Mechanika* 25.

<sup>9</sup> Ministerstwo Środowiska, *Strategia rozwoju energetyki odnawialnej*, Warszawa 2000.

Tabela 2. Średnie wartości opałowe paliw stosowanych w energetyce i ciepłownictwie

Paliwo	Wartość opałowa, MJ/kg
Ropa naftowa	39,80-41,90
Gaz ziemny	32,00-34,40
Węgiel kamienny	18,00-32,00
Biogaz	17,00-27,00
Gaz wysypiskowy	18,00-22,10
Węgiel brunatny	17,00
Torf	13,40-15,10
Drewno opałowe	11,00-15,00
Słoma	14,30
Trzcina	14,50
Gaz syntezowy (z biomasy)	4,00-17,80

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych: W. Warowny, K. Kwiecień, *Wykorzystanie biomasy do ogniw paliwowych*, „Czysta Energia” 2006, nr 10, [on-line], [www.abrys.pl](http://www.abrys.pl) – 10 X 2007 r.; J. Dudek, *Wykorzystanie biogazu ze składowisk odpadów komunalnych do celów energetycznych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej” 2003, z. 155, *Mechanika* 25, s. 272-280; *Mała encyklopedia techniki PWN*, Warszawa 1962.

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości opałowe stosowanych paliw kopalnych oraz gazów pochodzących z przetworzenia biomasy i odpadów. Uwagę zwraca wartość opałowa biogazu, porównywalna z węglem kamiennym, a nawet niewiele niższa niż gazu ziemnego. Zastosowanie optymalnych rozwiązań technologicznych umożliwi utylizację odpadów z jednoczesną produkcją wartościowego paliwa odnawialnego (OZE). W efekcie omówionych procesów otrzymujemy biogaz, gaz syntezowy czy wysypiskowy, paliwa te kierowane są do elektrowni lub elektrociepłowni. W układach kogeneracyjnych sprawność instalacji na biogaz wynosi 85-90%. Przetwarzanie biomasy w omawianych procesach spalania oraz różnych formach zgazowania umożliwia:

- produkcję czystej energii elektrycznej i ciepłej z relatywnie wysoką sprawnością,
- utylizację odpadów rolniczych i komunalnych,
- wydzielenie w postaci spieków składników nieorganicznych i metali ciężkich, rozbicie dioksyn i furanów bez możliwości ich odtworzenia,
- rekultywację terenów poprzemysłowych poprzez nasadzenie roślin energetycznych,
- rozwój lokalnego przemysłu energetycznego.

Biomasa jest dostępna na terenie całego kraju, głównie w rejonach o mniejszej urbanizacji. Jej transport ze względu na jej różnorodność i objętość jest nie-

ekonomiczny. Biomasa jako źródło energii najlepiej wykorzystywać w lokalnych elektrowniach, a więc w systemie rozproszonym. Ułatwi to także wybór technologii przetwarzania, gdyż w dużym stopniu zależy ona od składu i postaci biomasy. Z danych Ministerstwa Gospodarki wynika, że udział odnawialnych źródeł energii wynosi w Polsce 4,6% (2007 r.), do roku 2010 ma osiągnąć 7,5%. Rozwój odnawialnych źródeł energii stwarza szansę lokalnym społecznościom na utrzymanie energetycznej niezależności, stworzenie nowych miejsc pracy oraz polepszenie warunków środowiska. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z 19 grudnia 2005 r. (z poprawkami z 3 listopada 2006 r.) dystrybutorzy energii elektrycznej i ciepłej są zobowiązani do zakupu energii wytworzonej z odnawialnych źródeł. W 2008 r. wielkość sprzedaży odbiorcom (dokonującym zakupu na własne potrzeby) energii elektrycznej i ciepłej wytworzonej z odnawialnych źródeł energii nie może być mniejsza niż 7% całkowitej rocznej sprzedaży. W 2009 r. musi wzrosnąć do 8,7%. Od 2010 r. wielkość ta ma osiągnąć stałe 10,4% rocznie.

Rozwój energetyki odnawialnej z wykorzystaniem biomasy może odegrać istotną rolę w energetyce lokalnej. Ekonomiczne i środowiskowe efekty stosowanych rozwiązań potwierdzają znaczenie rozwoju zintegrowanych technologii łączących energetykę i utylizację odpadów. Właściwa segregacja, a następnie maksymalne wykorzystanie olbrzymiego zasobu energetycznego, jakim są biomasa i odpady, stwarza możliwość powstania efektywnego systemu gospodarki odpadami połączonej z produkcją energii ciepłej i elektrycznej.

## Bibliografia

- Ministerstwo Gospodarki, *Program dla energetyki*, Warszawa 2006.
- Ministerstwo Gospodarki i Pracy, *Polityka energetyczna Polski do 2025 roku*, Warszawa 2005.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii z dnia 19.12.2005 r.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie zakupu energii elektrycznej ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii z dnia 3.11.2006 r.
- Rakowski J., *Możliwości zgazowania biomasy dla potrzeb energetycznych*, II Konferencja Naukowo-Techniczna: Energetyka gazowa, Politechnika Śląska, Gliwice 2002.
- Kotowski W., *Parowy kocioł pyłowy elektrociepłowni sprzężony ze zgazowaniem mieszaniny biomasy i odpadów*, „Energia Gigawat” 2002.
- Malinowski D., *Klimat dla zielonej energii*, „Miesięcznik Gospodarczy Nowy Przemysł”, [on-line], [www.energetyka.wnp.pl](http://www.energetyka.wnp.pl) – 20 VI 2007.
- Warowny W., Kwiecień K., *Wykorzystanie biomasy do ogniw paliwowych*, „Czysta Energia” 2006, nr 10, [on-line], [www.abrys.pl](http://www.abrys.pl) – 10 X 2007.
- Dudek J., *Wykorzystanie biogazu ze składowisk odpadów komunalnych do celów energetycznych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej” 2003, z. 155, *Mechanika* 25, s. 272-280.