



Instytut Paliw i Energii Odnawialnej



03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 55
tel.: [48 22] 5100-200, fax.: [48 22] 5100-220
www.ipieo.pl

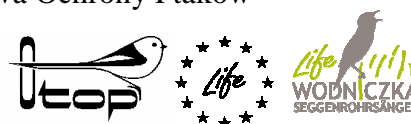
Symbol tematu: DS-400

mgr Ewa Gańko
mgr inż. Przemysław Koczyński
mgr inż. Krzysztof Wnęk
mgr inż. Anna Wróbel

Tytuł pracy:

Studium alternatywnego i efektywnego kosztowo zagospodarowania biomasy z późnego koszenia roślinności uzyskanej w wyniku zarządzania podmokłymi łąkami dla celów ochrony przyrody w Polsce

Opracowanie przygotowane dla Ogólnopolskiego Towarzystwa Ochrony Ptaków
w ramach projektu LIFE05 NAT/PL/000101



Kierownik pracy: mgr Ewa Gańko
Dyrektor Naczelny IPIEO: dr hab. Andrzej Kulczycki

Warszawa, sierpień 2008

Spis treści:

Wprowadzenie.....	3
1. Ogólne uwarunkowania energetycznego wykorzystania biomasy w Polsce	5
1.1. Regulacje prawne dotyczące rozwoju OZE	5
1.2. Wsparcie dla instalacji OZE.....	6
1.3. Pozwolenia na wytwarzanie energii z OZE	7
1.4. Źródła finansowania inwestycji w OZE.....	8
2. Przegląd technologii	9
2.1. Spalanie	9
2.2. Kompostowanie.....	12
2.3. Wytwarzanie biogazu	18
3. Charakterystyka biomasy z późnego koszenia łąk „wodniczkowych”	23
4. Ocena możliwości utylizacji traw z późnego koszenia	28
4.1. Spalanie	28
4.2. Kompostowanie.....	30
4.3. Wytwarzanie biogazu	33
5. Prezentacja studiów przypadku	35
5.1. Spalanie w małej skali – spalanie balotów	35
5.2. Spalanie w małej skali – brykietowanie	35
5.3. Spalanie w małej skali – małe kostki	36
5.4. Spalanie w dużej skali – kotłownia we Fromborku	37
5.5. Współspalanie biomasy łąkowej ze słomą	38
5.6. Kompostowanie w rękawach foliowych	39
5.7. Kompostowanie w przyzmach w rezerwacie Insh Marshes	42
5.8. Kompostowanie w oczyszczalni ścieków „Swarzewo”	45
5.9. Systemy zbioru biomasy słomistej i trawiastej	48
6. Podsumowanie i rekomendacje	54
Bibliografia:	58
Aneks 1: Instalacje	61
Aneks 2: Lista kontaktów	62
Aneks 3: Koszty zakupu maszyn do kompostowania	65

Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie zostało przygotowane dla Ogólnopolskiego Towarzystwa Ochrony Ptaków, które realizuje projekt „Ochrona wodniczki w Polsce i w Niemczech” dofinansowany przez fundusz LIFE. Celem projektu jest zapewnienie przetrwania zagrożonej „pomorskiej” populacji wodniczki i wsparcie odbudowy głównej populacji tego gatunku w Dolinie Biebrzy (OTOP 2008).

Cel projekt ma zostać osiągnięty poprzez ulepszanie i powiększanie siedlisk torfowiskowych w dolinie Biebrzy oraz na Pomorzu Zachodnim, które są terenami lęgowymi wodniczki. Chodzi o utrzymanie dużych otwartych ekosystemów bagiennych łąk, które dawniej użytkowane ekstensywnie (głównie wykaszanie i wypasanie), dziś zarastają (zakrzaczenia i zadrzewienia) w wyniku sukcesji naturalnej. Wraz z zanikiem ekstensywnie użytkowanych łąk zanika populacja wodniczki.

Regularne, późne koszenie roślinności na torfowiskach niskich oraz podmokłych łąkach zasiedlanych przez wodniczkę jest najbardziej skuteczną metodą utrzymania tych siedlisk i ich ochrony. Koszenie może się odbyć po 1 sierpnia, co podyktowane jest głównie potrzebą dostosowania się do okresów lęgowych ptaków. Pozyskiwana w wyniku koszenia biomasa musi zostać wywieziona z terenów łąk i zagospodarowana. Konieczne jest poszukiwanie takich sposobów zagospodarowania, które umożliwią stworzenie więzi pomiędzy ochroną obszarów „wodniczkowych” a lokalnymi podmiotami wykorzystującymi biomasę; więzi o charakterze ekonomicznym są najbardziej pożądane.

Całkowity obszar, którego dotyczy projekt obejmuje 118 tys. ha. W Polsce są to tereny na Pomorzu Zachodnim oraz Biebrzański Parku Narodowego wraz z jego strefa buforową (Tabela 1). Na obszarach tych realizowane są zabiegi ochronne w formie koszenia łąk - w ramach projektu w latach 2008-2010 corocznie koszenie prowadzone będzie łącznie na obszarze 1259 ha łąk, natomiast od roku 2011 areał ten zostanie zwiększony o 950 ha. Przyjmuje się, że całkowity obszar łąk, które mogą być koszone jest znacznie większy i może sięgać kilku tysięcy hektarów, przy czym największe areał dostępny jest w dolinie Biebrzy.

Tabela 1 Charakterystyka obszarów objętych projektem „Ochrona wodniczki w Polsce i w Niemczech” (OTOP 2008)

Nazwa	Całkowity obszar	Obszar koszony w ramach projektu w latach 2008-2010	Obszar koszony corocznie od roku 2011	Potencjalny obszar, który może zostać objęty koszeniem
Biebrzański Park Narodowy (BPN)	59 223	499	200	1 750*
Strefa buforowa (BPN)	1 253	180	180	500
Kasiborska Kępa	300	40	40	65
Krajnik	365	150	150	150
Jezioro Miedwie	15 921	200	200	350
Bagna Rozwarowskie	1 770	15	0	0
Woliński Park Narodowy	10 937	55	80	80
Zajęcze Łęgi	400	0	0	0
Dolina Peene	27 800	120	100	1 000
Razem	117 969	1 259	950	3 895

* planuje się wydzierżawianie ok. 3500 ha prywatnym użytkownikom w celu wykonania koszenia z możliwością uzyskania dopłat rolno-środowiskowych; całkowity areal terenów o charakterze otwartym w BPN wynosi 37000 ha, są to obszary, które potencjalnie mogą zostać poddane koszeniu.

Niniejsze opracowanie dotyczy analizy trzech alternatywnych sposobów zagospodarowania biomasy pozyskiwanej w wyniku późnego koszenia łąk bagiennych, tj.: (i) zagospodarowanie na cele energetyczne w procesach spalania, (ii) wykorzystane biomasy w procesie fermentacji metanowej i wytwarzania biogazu, z którego produkowana jest energia elektryczna i ciepło, (iii) zagospodarowanie biomasy w procesie kompostowania. Opracowanie wykonano mając na uwadze dostępność poszczególnych technologii oraz uwarunkowania prawno-ekonomiczne wykorzystania biomasy w Polsce.

Opracowanie rozpoczyna się przedstawieniem ogólnych uwarunkowań wykorzystania energetycznego biomasy w Polsce (Rozdział 1). Następnie scharakteryzowano procesy spalania, fermentacji oraz kompostowania (Rozdział 2). Podano charakterystykę biomasy z terenów łąk bagiennych (Rozdział 3). Przeanalizowano możliwość zagospodarowania biomasy z późnego koszenia łąk w procesach spalania, fermentacji i kompostowania, a także omówiono sposoby pozyskania biomasy z terenów bagiennych (Rozdział 4). Przedstawiono kilka istniejących na terenie kraju oraz za granicą rzeczywistych przykładów zagospodarowania biomasy łąkowej (Rozdział 5). Opracowanie kończy się podsumowaniem i rekomendacjami (Rozdział 6).

1. Ogólne uwarunkowania energetycznego wykorzystania biomasy w Polsce

1.1. Regulacje prawne dotyczące rozwoju OZE

Zgodnie z polskim *Prawem Energetycznym* biomasa to biodegradowalne substancje (pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego) pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty, jak również inne odpady biodegradowalne (Dz. U. z 2006 r. Nr 89 poz. 625).

Według „Polityki energetycznej państwa do roku 2025” (M. P. 2005, Nr 42 poz. 562) w warunkach polskich technologie wykorzystujące biomasę stanowią będą podstawowy kierunek rozwoju odnawialnych źródeł energii. Zakłada się, że pozyskiwana na ten cel biomasa w znacznym stopniu pochodzić będzie z upraw energetycznych. Przewiduje się wykorzystanie szerokiej gamy zasobów biomasy, zawartej w różnego rodzaju odpadach przemysłowych i komunalnych, także spoza produkcji roślinnej i zwierzęcej, co przy okazji tworzy nowe możliwości dla dynamicznego rozwoju lokalnej przedsiębiorczości.

Udział energii wytworzonej w źródłach odnawialnych w 2010 roku powinien osiągnąć poziom 7,5% zużycia energii ogółem (Dz. U. 2005 Nr 261 poz. 2187). Rozporządzenia szczegółowe określają cele dotyczące produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (OZE) oraz biopaliw transportowych (Tabela 2).

Tabela 2 Cele dotyczące produkcji energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródłach energii oraz zużycia biopaliw transportowych (Dz. U. 2005 Nr 261 poz. 2187; Ministerstwo Gospodarki 2007)

Udział energii elektrycznej z OZE w całkowitej ilości energii sprzedanej odbiorcom końcowym		Udział biokomponentów w rynku paliw transportowych	
Rok	Cel	Rok	Cel
2008	7,0%	2008	3,45 %
2009	8,7%	2009	4,60 %
2010	10,4%	2010	5,75 %
2011	10,4%	2011	6,20 %
2012	10,4%	2012	6,65%
2013	10,4%	2013	7,10 %
2014	10,4%	2014	7,55%

W dniu 23 stycznia 2008 r. Komisja Europejska przyjęła projekt *Dyrektywy ramowej w sprawie promocji wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych* (Komisja Europejska 2008). Dokument ten ma na celu wprowadzenie narzędzi (mechanizmów wsparcia), które pozwolą na osiągnięcie celów, które w marcu 2007 r. przyjęła Rada Europejska, w tym w szczególności zwiększenia udziału energii pochodzącej z odnawialnych źródeł energii do 20% w bilansie energii UE w 2020 r. Projekt dyrektywy wyznacza cele obligatoryjne w zakresie udziału energii odnawialnej dla poszczególnych krajów członkowskich.

W przypadku Polski ustalono cel na poziomie 15%, który w świetle obecnego udziału energii ze źródeł odnawialnych w ogólnym zużyciu energii wydaje się być ambitnym, aczkolwiek możliwym do osiągnięcia.

Do podstawowych dokumentów prawne w Polsce związane z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii:

- Ustawa *Prawo Energetyczne* z dnia 10 kwietnia 1997 r. (Dz. U. 2006, Nr 89 poz. 625).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 19 grudnia 2005 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii (Dz. U. 2005, Nr 261 poz. 2187).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 3 listopada 2006 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii (Dz. U. 2006, Nr 205, poz. 1510).
- Ustawa o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz. U. 2006, Nr 169, poz. 1199).
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 14 marca 2008 r. w sprawie rodzajów roślin, innych niż wymienione w art. 33 ust. 1 lit. a rozporządzenia nr 1973/2004, do których przysługują płatności do roślin energetycznych (Dz. U. 2008, Nr 44, poz. 268).
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 14 marca 2008 r. w sprawie plonów reprezentatywnych roślin energetycznych w 2008 r. (Dz. U. 2008, Nr 44, poz. 267).

1.2. Wsparcie dla instalacji OZE

Energetyka odnawialna ze względu na swoją specyfikę wymaga wsparcia ze strony władz w postaci odpowiednich instrumentów rynkowych i prawnych. Systemy wsparcia umożliwiają rozwój technologii odnawialnych źródeł energii (OZE) oraz ułatwiają osiągnięcie zadanych celów ilościowych.

W celu wsparcia wytwarzania energii elektrycznej z OZE w Polsce zastosowano w 2005 roku system tzw. zielonych certyfikatów. Są to prawa majątkowe wynikające ze świadectw pochodzenia energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródłach energii. Świadectwa pochodzenia (zielone certyfikaty) są zbywalne i są przedmiotem obrotu rynkowego. Podmioty (wytwórcy i przedsiębiorstwa obrotu) sprzedające energię elektryczną odbiorcom końcowym zobowiązane są udokumentować wypełnienie obowiązku związanego z pozyskaniem odpowiedniej ilości energii ze źródeł odnawialnych poprzez przedstawienie prezesowi Urzędu Regulacji Energetyki (URE) do umorzenia odpowiedniej ilości świadectw pochodzenia. Producent energii odnawialnej w Polsce uzyskuje przychody z dwóch źródeł – ze sprzedaży energii elektrycznej po cenie rynkowej oraz ze sprzedaży zielonych certyfikatów, które jako

zbywalne prawa majątkowe sprzedawane są na giełdzie lub też poprzez umowy bilateralne. Na chwilę obecną cena rynkowa energii elektrycznej to w przybliżeniu 130 zł/MWh, świadectwo pochodzenia (zielony certyfikat) kosztuje około 240 zł, natomiast wysokość opłaty zastępczej to 240 zł/MWh. W przypadku, kiedy nie zostanie wniesiona opłata zastępcza ani nie zostanie spełniony obowiązek zakupu odpowiedniej ilości odnawialnej energii, regulator rynku (URE) nakłada na dany podmiot karę, a dodatkowo spółka dystrybucyjna pozostaje z nadal niewypełnionym obowiązkiem. Poza zielonymi certyfikatami rozwój sektora energii elektrycznej z OZE, wspierany jest poprzez obowiązek zakupu każdej ilości tej energii, która jest wprowadzana do sieci elektroenergetycznej.

W analogiczny sposób sytuacja przedstawia się przy skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej – poligeneracji. Świadectwa pochodzenia energii wytworzonej w kogeneracji (elektrociepłowni) to tzw. czerwone certyfikaty.

Mechanizm wsparcia produkcji ciepła z OZE jest stosunkowo najłagodniejszy. Nie ma tu żadnych elementów rynkowych, jedynie obowiązek zakupu do sieci każdej ilości ciepła wytworzonej z OZE nałożony na sprzedawców ciepła odbiorcom końcowym, przy czym wielkość obowiązku nie może przekraczać zapotrzebowania odbiorców ciepła.

1.3. Pozwolenia na wytwarzanie energii z OZE

Zgodnie z *Prawem Energetycznym* (Dz. U. 2006 r. Nr 89, poz. 625, Nr 104, poz. 708, Nr 158, poz. 1123 i Nr 170, poz. 1217), uzyskania koncesji wymaga wykonywanie działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania paliw lub energii, z wyłączeniem:

- wytwarzania paliw stałych lub paliw gazowych, wytwarzania energii elektrycznej w źródłach o łącznej mocy nie przekraczającej 50 MW nie zaliczanych do odnawialnych źródeł energii,
- wytwarzania energii elektrycznej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła w źródłach o łącznej mocy nie przekraczającej 5 MW nie zaliczanych do odnawialnych źródeł energii,
- wytwarzania ciepła w źródłach o łącznej mocy nie przekraczającej 5 MW.

Koncesjonowaniu podlega, zgodnie z brzmieniem cytowanego wyżej przepisu, każda działalność gospodarcza w zakresie wytwarzania energii elektrycznej w odnawialnych źródłach energii bez względu na wielkość mocy zainstalowanej źródła, czy też ilość energii wyprodukowanej w takim źródle. Natomiast wytwarzanie ciepła w odnawialnych źródłach energii wymaga koncesji, jeśli wielkość instalacji wynosi powyżej 5 MW.

W przypadku zastosowań indywidualnych, kiedy instalacja nie jest przyłączona do sieci nie są wymagane pozwolenia na emisję, świadectwa pochodzenia czy zielone/czerwone certyfikaty.

1.4. Źródła finansowania inwestycji w OZE

Prowadzenie działalności gospodarczej mającej na celu rozwój technologii OZE wymaga od każdego inwestora znacznych nakładów finansowych. Do instytucji udzielających pomocy finansowej dla inwestorów z zakresu OZE należą:

- Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.
- Wojewódzkie fundusze ochrony środowiska i gospodarki wodnej.
- Bank Ochrony Środowiska S.A.
- EkoFundusz.
- Program Operacyjny: Infrastruktura i Środowisko.
- Program Rozwoju Obszarów Wiejskich.
- Program Operacyjny: Innowacyjna Gospodarka.

2. Przegląd technologii

2.1. Spalanie

Podstawowe sposoby wykorzystania biomasy w instalacjach energetycznych realizowane są poprzez jej spalanie (jako paliwa podstawowego), współspalanie (z innym paliwem – w warunkach krajowych przede wszystkim z węglem), zgazowanie/pirolizę i wykorzystanie produktu zgazowania jako paliwa. W grę wchodzi także przygotowywanie paliw specjalnych na bazie biomasy (brykiety, pelety, itp.).

Proces spalania przebiega w trzech etapach:

- suszenie – następuje odparowanie wilgoci zawartej w cząsteczce wraz z jej nagrzewaniem,
- zgazowanie i spalanie – termiczny rozkład paliwa oraz równoległe spalanie wydzielonych związków lotnych,
- dopalanie powstałego karbonizatu - spalaniu ulegają stałe produkty palne, w postaci tzw. węgla drzewnego.

Pomiędzy procesem pierwszym a kolejnymi następuje zapłon będący początkiem właściwego spalania.

Efektywność energetyczna spalania zależy od ilości dostarczanego powietrza. Z tego względu w kotłach na biomasę powietrze dostarczane jest w postaci tzw. powietrza pierwotnego i wtórnego. Powietrze pierwotne miesza się z paliwem i wykorzystywane jest w procesie zgazowania i spalania. Powietrze wtórne jest wykorzystywane podczas spalania substancji lotnych i nie miesza się z powietrzem pierwotnym.

Ze względu na specyficzne własności fizykochemiczne biomasy do jej spalania należy stosować kotły o specyficznych, dedykowanych rozwiązaniach technologicznych. Około 20% masowych biomasy to stałe związki węgla, natomiast pozostała część to związki lotne wydzielające się zwykle w wąskim zakresie temperatur. Fakt ten wymusza zastosowania specyficznej konstrukcji kotła, gdzie w równoległym procesie nastąpi spalanie masy stałej na ruszcie oraz związków lotnych nad rusztem.

Moc kotłów na biomasę waha się w zakresie od kilku kW do kilkuset MW. Palenisko składa się z komory spalania z materiału odpornego na wysoką temperaturę spalania dużych balotów metodą „cygarową” od czoła z ukierunkowanym nadmuchem powietrza oraz rusztu, na którym zachodzi sam proces. W zależności od jakości biomasy (wilgotność) wykorzystuje się różne rodzaje rusztów: stałe, mechaniczne płaskie oraz schodkowe.

Do spalania biomasy o średniej zawartości wilgoci na poziomie 20-25% wykorzystuje się system rusztów stałych bądź mechanicznych poziomych. Do paliw wilgotnych (40-60%) kotły wyposażone są w ruchome ruszty schodkowe. Dzięki temu w pierwszej fazie odparowaniu ulega woda z paliwa, a następnie w miarę przesuwania w głąb paleniska następuje całkowite spalanie. Innym rodzajem kotłów są kotły fluidalne – ich stosowanie pozwala na efektywne spalanie biopaliw niskiej jakości (wilgotnych) przy zachowaniu emisji zanieczyszczeń na niskim poziomie.

Spalanie drewna

W nowoczesnych kotłach na drewno proces spalania drewna jest prowadzony w taki sposób, aby doszło do spalania całkowitego i zupełnego, czyli żeby ograniczyć do minimum zapylenie i powstawanie sadzy. Proces ten można podzielić na następujące fazy:

- Suszenie i odgazowywanie, podczas którego podgrzane powietrze dopływające z górnej części komory paliwowej suszy drewno i pomaga w częściowym zgazowaniu zawartej w nim celulozy.
- Spalanie zupełne, przebiegające w temperaturze ponad 1000 °C, w wyniku połączenia gazów palnych z powietrzem wtórnym.
- Spalanie całkowite, czyli dopalanie cząsteczek stałych spadających z rusztu.
- Skierowanie spalin do powierzchni grzewczych kotła i przekazywanie ciepła wodzie.

Kotły te nazywane są zgazowującymi. Zachodzące w nich intensywnie zjawisko pirolizy, czyli suchej destylacji drewna, prowadzi do uzyskania gazu drzewnego. Ma to miejsce przy szczelnie zamkniętej komorze załadowniczej kotła, zamkniętym przewodzie kominowym i ograniczonym dopływie powietrza dostarczanego przez wentylator o automatycznie sterowanej wydajności. Powstający w ten sposób gaz jest kierowany do dyszy, do której jest także doprowadzone powietrze, tak zwane wtórne. Proporcje powietrza i gazu drzewnego są dobierane automatycznie w taki sposób, aby doszło do pełnego dopalenia produktów pirolizy. Żeby spalanie drewna przebiegało w opisany sposób, kocioł wyposaża się w odpowiedni układ automatycznej regulacji, a jego elementy muszą być odporne na szczególnie wysoką temperaturę. Dlatego kotły zgazowujące są znacznie droższe od najprostszych kotłów ze spalaniem dolnym. W takich kotłach można palić kawałkami drewna o dowolnej wielkości, nawet ścinkami i wiórami, ale drobne kawałki powinny być spalane razem z większymi. Pełny załadunek opału wystarcza na kilka, a nawet kilkanaście godzin pracy kotła. Aby osiągnąć najlepsze efekty, do palenia trzeba używać suchego drewna. Jego wilgotność nie powinna przekraczać 35%, a najlepiej, gdy wynosi 20%.

Spalanie słomy

Ze względu na znaczną objętość w stosunku do wartości energetycznej oraz niejednorodnością zawartość części lotnych do spalania słomy wykorzystuje się kotły o odrębnej konstrukcji. Trzy podstawowe to (Grzybek i in. 2001):

- Kotły wsadowe - używane do okresowego spalania całych bel słomy, najczęściej zaopatrujące w energię cieplną gospodarstwa rolne, szklarnie, małe i średnie przedsiębiorstwa oraz niewielką zabudowę mieszkaniową na wsiach.
- Kotły do spalania słomy rozdrobnionej, obok kotłów wsadowych należą do najczęściej wykorzystywane w Polsce.
- Kotły do „cygarowego” spalania całych bel słomy (spalanie dużych balotów od czoła z ukierunkowanym nadmuchem powietrza) – nie tak rozpowszechnione jak kotły dwóch poprzednich rodzajów ze względu na fakt, iż w balotach mogą występować miejscowe zawilgotnienia, co prowadzi do nierównomiernego spalania.

Współspalanie biomasy i węgla

Biomasa jest wykorzystywana w Polsce w procesach współspalania z miałem węglowym w dużych zakładach energetycznych wytwarzających energię elektryczną. Zainteresowanie współspalaniem wynika z nałożonego na zakłady energetyczne (sprzedające energię odbiorcom końcowym) obowiązku dotyczącego wytwarzania energii elektrycznej z OZE (Dz. U. 2005, Nr 261 poz. 2187). Obowiązek ten powoduje wzrost zapotrzebowania na biomasę w kraju dla sektora elektroenergetyki. Warunkiem ekonomicznej oraz technicznej poprawności współspalania jest zachowanie optymalnego udziału biomasy w mieszance paliwowej oraz jej odpowiednia jakość. Efektywne współspalanie przygotowanej mieszanki, może być przeprowadzane w istniejących kotłach rusztowych, fluidalnych i pyłowych.

Z uwagi na uwarunkowania logistyczne, techniczne oraz ekonomiczne w energetyce zawodowej do procesów współspalania wykorzystuje się głównie biomasę drzewną. Biomasa w postaci słomy, bądź traw stanowi paliwo kłopotliwe, głównie ze względu na właściwości fizyko-chemiczne i związane z nimi trudności w czasie spalania. Znane są w kraju przypadki wykorzystania słomy w postaci peletów lub brykietów do współspalania z węglem.

W przypadku bezpośredniego współspalania biomasa doprowadzana jest do komory spalania wspólnie lub oddzielnie z węglem. Mieszanie biomasy z węglem może mieć miejsce na składowisku – w tym przypadku mieszanka transportowana jest do instalacji młynowych, bądź też wewnątrz komory spalania – tutaj oba paliwa przygotowywane są wcześniej w specjalnie dla nich przewidzianych instalacjach mielenia i rozdrabniania.

W przypadku pośredniego współspalania biomasa poddawana jest wstępnemu spalaniu lub zgazowaniu, a zawarta w gazie energia wykorzystywana jest w odpowiednio przystosowanym kotle węglowym. W przypadku spalania biomasy w przedpalenisku gazem doprowadzanym do kotła jest gaz spalinowy o wysokiej entalpii fizycznej, z kolei w przypadku zastosowania zgazowania gazem doprowadzonym jest gaz syntezowy, który zostaje spalony wraz z węglem w komorze paleniskowej.

Wykorzystywana jest także technologia współspalania w układzie równoległym, w której węgiel oraz biomasa spalane są w osobnych komorach z zachowaniem indywidualnych wymogów. Układy pracować mogą na jeden kolektor parowy, wtedy mówimy o tzw. układzie hybrydowym.

2.2. **Kompostowanie**

Kompost jest to nawóz organiczny, otrzymywany w wyniku częściowego rozkładu tlenowego przez mikroorganizmy saprofityczne różnych materiałów pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, których nie można stosować bezpośrednio jako nawozu, np. resztki żywności i karmy, chwasty, łęty ziemniaczane, łodygi kukurydzy, torf, fekalia, szlam z rowów melioracyjnych, osady z oczyszczalni ścieków itd. Kompostowanie trwa od sześciu tygodni do kilku lat. Kompost jest najtańszym oraz odpowiednim dla wszystkich uprawianych roślin nawozem organicznym. Kompost stale dodawany do gleby zwiększa w niej zawartość próchnicy poprawiając zdecydowanie jakość słabych gleb (Gościński 2007).

Wybrane parametry kompostu (Gościński 2007):

Sucha masa kompostu – zawartość substancji stałych, wyrażana w %.

Wilgotność kompostu – dopuszczalna zawartość wody w kompoście mieści się w przedziale 25-50%. Poniżej 25% następuje tzw. stabilizacja sucha, czyli zatrzymanie procesów rozpadu z powodu niedostatku wody. Gdy wilgotność jest zbyt wysoka, woda gromadząca się w porach wypiera tlen, wówczas kompost zaczyna gnić i cuchnąć.

Zawartość substancji organicznych – głównie jest to ilość związków węgla i czystego węgla organicznego (C_{org}) w suchej masie kompostu.

Stosunek węgla (C_{org}) do azotu (N) - odpowiedni stosunek węgla organicznego do azotu (C:N) konieczny jest by w pierwszej fazie kompostowania uaktywniają się grzyby i bakterie. Części zielone roślin są bogate w azot, części zdrewniałe natomiast w węgiel. Odpowiedni stosunek węgla do azotu występuje w świeżo skoszonej trawie, roślinach uprawianych na zielony nawóz ściętych przed kwitnieniem.

Dostęp tlenu – konieczny do podtrzymania życia mikroorganizmów w kompoście. Brak tlenu powoduje ich obumieranie i tworzenie ogniw gnilnych, czyli beztlenowego rozpadu przy udziale bakterii beztlenowych, powodujących wydzielanie się przykrych zapachów.

Proces kompostowania przebiega zasadniczo w dwóch etapach (Jędrzak, Haziak 2005):

Etap I kompostowanie intensywne; część procesu kompostowania, w trakcie którego z odpadów organicznych otrzymywany jest kompost świeży. W tej fazie materiał ulega higienizacji, łatwo rozkładalne substancje zostają praktycznie rozłożone i maleje potencjalna zdolność emisji substancji zapachowych.

Etap II dojrzewanie; etap procesu kompostowania, w którym z kompostu świeżego uzyskuje się kompost dojrzały. W trakcie tej fazy rozkładane są substancje trudno rozkładalne (np. ligniny) i powstają stabilne struktury próchniczne z wbudowanymi substancjami odżywczymi, odporne na działanie czynników zewnętrznych.

Technologie kompostowania odpadów można zakwalifikować do jednej z siedmiu grup. Różnią się one zasadniczo sposobem prowadzenia i etapu kompostowania, w tym przede wszystkim: sposobem formowania i kształtem pryzm, systemem napowietrzania mieszaniny kompostowej oraz czasem trwania rozkładu.

Tabela 3 Systemy kompostowania odpadów organicznych (Jędrzak, Haziak 2005)

Systemy kompostowania		
Statyczne	Quasi-dynamiczne	Dynamiczne
- w pryzmach statycznych - metodą mat - komorowe i kontenerowe - technologią Brikollare	- w pryzmach przerzucanych - rzędowe i tunelowe	- w bębnach kompostowniczych - wieżowe

Przy innym podejściu do klasyfikacji systemów kompostowania, typowym dla inżynierii chemicznej, rozróżnia się systemy, w których kompostowanie jest prowadzone w reaktorze, nazywane „zamkniętymi” oraz systemy „otwarte” (Jędrzak, Haziak 2005).

Tabela 4 Podział systemów kompostowania odpadów organicznych przy zastosowaniu jako kryterium typu reaktora (Jędrzak, Haziak 2005)

Systemy niereaktorowe (otwarte)		Systemy reaktorowe (zamknięte)	
bez przemieszczania odpadów w złożu	z przemieszczaniem odpadów w złożu	reaktory o przepływie pionowym (wieże)	reaktory o przepływie poziomym (bębny i zbiorniki)
- w pryzmach statycznych, - w pryzmach z napowietrzeniem, - w techn. Brikollare	- w pryzmach przerzucanych, - w pryzmach przerzucanych, z napowietrzeniem.	- w wieżach z piętrami, - w wieżach bez pięter.	- skrzyniowe, - tunelowe, - tunelowe i kontenerowe, - bębnowe.

I. Kompostowanie w pryzmach

Jest to najstarsza i najbardziej znana metoda kompostowania. Kompostowaniu może być poddawany rozdrobniony i nierozdrobniony materiał, przy czym ostatnia metoda ma szereg wad. Kompostowany materiał usypywany jest w pryzmy o przekroju trójkątnym lub trapezowym oraz w płaskie stosy. Pryzmy w stosunku do swej objętości mają względnie dużą powierzchnię tak, że niezbędna jest odpowiednia duża objętość pryzm, aby zapobiec ich wychłodzeniu. Pryzmy powinny być tak duże, jak pozwala na to sprzęt do kompostowania. Z drugiej strony wielkość pryzm uzależniona jest od sposobu ich napowietrzania.

Ze względu na technikę napowietrzania pryzm rozróżnia się następujące metody kompostowania w pryzmach statycznych, w pryzmach statycznych z napowietrzeniem, w pryzmach przerzucanych oraz w pryzmach przerzucanych z napowietrzeniem.

Kompostowanie może być prowadzone na otwartej przestrzeni lub pod zadaszeniem, przy czym zadaszenie zmniejsza wpływy pogody na proces oraz daje możliwość kontroli emisji odorów. Zapotrzebowanie terenu przy kompostowaniu w pryzmach waha się od 0,7 do 1,2 m²/Mg (Tome-Kozmiensky 1992).

Kompostowanie w przyzmach statycznych

Jest to najprostsza metoda kompostowania, która jest jednak rzadko stosowana z powodu możliwości tworzenia się stref beztlenowych i wydzielania odorów. Najczęściej usypuje się przyzmy o przekroju trójkątnym, o wysokości 1,3-1,5 m i szerokości podstawy do 3 m. Obsługa kompostowni ogranicza się do formowania przyzm, ich rozbierania po zakończeniu kompostowania oraz do oczyszczania produktu. Taki zakres prac wymaga użycia sprzętu i ludzi tylko przez kilka dni w roku, dzięki czemu koszty inwestycyjne i eksploatacyjne są niskie. Uzyskanie gotowego produktu wymaga jednak prowadzenia kompostowania przez ponad rok (Gościński 2007).

Kompostowanie w przyzmach statycznych z napowietrzaniem

W kompostowniach z wymuszonym napowietrzeniem stosuje się napowietrzenie ciśnieniowe i podciśnieniowe, jak również kombinacje obu technik. Wysokość przyzm może wynosić do 5 m. Napowietrzanie prowadzone jest za pomocą perforowanych rur lub kanałów połączonych z mechaniczną dmuchawą. Czas kompostowania w przyzmach statycznych z napowietrzaniem wynosi od 12 do 16 tygodni (Bilitewski i in. 1994).

Kompostowanie w przyzmach przerzucanych

Materiał jest regularnie przerzucany w celu poprawy warunków napowietrzania. Gwarantuje to lepsze napowietrzenie i homogenizację mieszanki, zmniejsza ryzyko powstawania odorów, ale wymaga użycia większej ilości sprzętu niż w metodzie statycznej. Częstotliwość przerzucania przyzm może wynosić od dwóch razy na tydzień do raz w roku. Przerzucanie przyzmy jest konieczne, gdy stężenie tlenu spada poniżej 10-15%. Jest to poziom niezbędny dla przebiegu tlenowego rozkładu i minimalizacji problemu odorów.

Urządzenia wykorzystywane do przerzucania określają kształt, wymiary i odstęp między przyzmaci. Mają one zwykle wysokość od 1,5 do 3,5 m, szerokość od 3,0 do 7,5 m i długość kilkudziesiąt metrów. W małych obiektach do przerzucania przyzm stosowane są ładowarki. Wymagają one dużej przestrzeni pomiędzy przyzmaci do wykonywania manewrów związanych z przerzucaniem przyzm. Przyzmy szerokoprzestrzenne (stosy) przerzucane są za pomocą automatycznych przerzucarek poruszających się najczęściej po szynach. Są one często wyposażone w instalacje zraszające. Czas kompostowania w przyzmaci przerzucanych wynosi od 9 do 12 tygodni (Bilitewski i in., 1994).

Kompostowanie rzędowe i tunelowe

Kompostowanie rzędowe (szeregowie) jest formą kompostowania w przyzmaci. Materiał usypywany jest w przyzmaci rozdzielone stałymi ścianami otwarte od góry (szereg podłużnych boksów). Wysokość przyzm sięga do 4 m. Proces kompostowania może być sterowany oddzielnie w każdym rzędzie przez niezależne napowietrzanie, nawadnianie i przerzucanie. Rzędy mogą być obudowane – mówi się wówczas o kompostowaniu tunelowym. Technika napowietrzania i przerzucania jest analogiczna jak w kompostowaniu rzędowym. Proces trwa od 2 do 12 tygodni, zależnie od żądanego stopnia rozkładu (Gościński 2007).

Tabela 5 Zalety i wady procesów kompostowania w pryzmach (Jędrczak, Haziak 2005)

System	Zalety	Wady
Napowietrzana pryzma statyczna	<ul style="list-style-type: none"> - umiarkowane koszty inwestycyjne przy kompostowaniu w otwartym terenie (zadaszenie placu pryzmowego powoduje wzrost kosztów), - wysoki stopień zniszczenia mikroorganizmów chorobotwórczych, - łatwa kontrola wydzielanych odorów, - dobra stabilizacja produktu. 	<ul style="list-style-type: none"> - większe zapotrzebowanie terenu w porównaniu do systemów komorowych, - w instalacjach niezadaszonych deszcz lub śnieg mogą hamować proces i powodować mniejszą jednorodność produktu, - często wymagany jest kosztowny system usuwania odorów.
Pryzma przrzućana	<ul style="list-style-type: none"> - szybkie suszenie na skutek uwalniania wilgoci podczas obrotu pryzm, - suchy produkt pozwala łatwiejsze oddzielenie i wysoki odzysk materiału strukturalnego, - konieczność operowania dużymi objętościami odpadów, - dobra stabilizacja produktu, - niskie koszty inwestycyjne, jeżeli urządzenie nie jest przykryte. 	<ul style="list-style-type: none"> - duże zapotrzebowanie terenu, - wysokie koszty eksploatacji wynikające z częstego przrzućania pryzm wymagane stałe kontrolowanie temperatury, - możliwa emisja odorów w czasie przrzućania pryzm, - gorsze efekty, jeżeli plac pryzmowy nie jest zadaszony.

II. Systemy reaktorowe

Kompostowanie komorowe i kontenerowe

Obie technologie różnią się jedynie pojemnością zamkniętego reaktora, w którym przebiega kompostowanie. Komory kompostowe są obiektami budowlanymi (konstrukcje żelbetowe), mają objętość 50-100 m³ i są zwykle zasypywane i opróżniane za pomocą ładowarki. Kontenery do kompostowania mają pojemność ok. 20 m³ i są ustawiane za pomocą samochodu ciężarowego lub dźwigu. Oba typy reaktorów wyposażone są w wymuszone napowietrzanie i ujmowanie wód odciekowych. Większość proponowanych instalacji posiada urządzenia do odzysku ciepła z zanieczyszczonego powietrza, biofiltry do jego dezodoryzacji oraz zamknięty obieg wód odciekowych. Kompostowanie intensywne w komorach przebiega w czasie 2-3 tygodni, a w kontenerach 7-14 dni (Bilitewski i in., 1994).

Kompost otrzymywany w procesie intensywnego kompostowania w bioreaktorze, zostaje następnie poddany kompostowaniu wtórnemu, najczęściej w pryzmach. Czas dojrzewania i zakres dalszej obróbki kompostu zależą od żądanej jakości produktu i od sposobu jego wykorzystania. Czas dojrzewania waha się od 1 do 4 miesięcy (Gościński 2007).

III. Systemy dynamiczne

Kompostowanie w bębnach kompostowniczych

Technologie dynamiczne, stosowane z reguły do intensywnego kompostowania, opracowane zostały w celu skrócenia czasu kompostowania i zwiększenia wydajności. Podstawowym, wielofunkcyjnym urządzeniem kompostowni bębnowych jest biostabilizator. Następuje w nim rozdrobnienie „miękkich” składników, dokładne wymieszanie i homogenizacja masy oraz inicjacja biochemicznego rozkładu. Po procesie intensywnego kompostowania w bębnie konieczne jest wtórne kompostowanie. Systemy dynamiczne, w porównaniu ze statycznymi, oszczędzają czas, jednak biorąc pod uwagę czas trwania całego cyklu, obejmującego również dojrzewanie, oszczędności te są niewielkie (Bilitewski i in. 1994).

Kompostowanie wieżowe

Systemy wieżowe stosuje się do intensywnego kompostowania odpadów metodą ciągłą. Wieże do kompostowania intensywnego mają zwykle pojemność ponad 1000 m³. Kompostowany materiał jest poddawany do górnej części wieży i przemieszcza się na dół. Powietrze dostarczane w przeciw prądzie do góry. W fazie intensywnego kompostowania materiał przemieszcza się przez reaktor w ciągu 14 dni. Czas dojrzewania wynosi 4 tygodnie. Zaletą tej metody jest mniejsze zapotrzebowanie na powierzchnię w porównaniu do kompostowania w przyzmach (Gościński 2007).

Tabela 6 Zalety i wady procesów kompostowania w komorach (Jędrzak, Haziak 2005)

System	Zalety	Wady
Kompostowanie komorowe	<ul style="list-style-type: none">- małe zapotrzebowanie terenu,- lepsza kontrola procesu niż w systemach otwartych,- niezależność od warunków pogodowych,- łatwe kontrolowanie wydzielania odorów,- potencjalnie możliwy odzysk ciepła,- mniejsze wymagania dotyczące obsługi instalacji.	<ul style="list-style-type: none">- wysokie koszty inwestycyjne,- system wysoko zmechanizowany,- brak danych eksploatacyjnych dla systemów o dużych przepustowościach,- wysokie koszty konserwacji podzespołów i możliwe długie okresy przestoju w przypadku ich awarii,- możliwa niepełna stabilizacja produktu.

Wymagania dotyczące jakości kompostu

W warunkach polskich kompost można wprowadzić do obrotu handlowego, lecz musi on spełniać odpowiednie wymagania jakościowe, które są określone w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 października 2004 roku (Dz. U. 2004 nr 236 poz. 2369). Zgodnie z tym rozporządzeniem nawozy organiczne i organiczno-mineralne dopuszczone do obrotu winny wykazywać się następującymi cechami:

- Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w nawozach organicznych i organiczno-mineralnych nie może przekraczać:
 - chromu (Cr) – 100 mg na kg suchej masy nawozu,
 - cynku (Zn) – 1500 mg na kg suchej masy nawozu,
 - kadmu (Cd) – 3 mg na kg suchej masy nawozu,
 - miedzi (Cu) – 400 mg na kg suchej masy nawozu,
 - niklu (Ni) – 30 mg na kg suchej masy nawozu,
 - rtęci (Hg) – 2 mg na kg suchej masy nawozu.

- W nawozach nie mogą występować:
 - żywe jaja pasożytów jelitowych *Ascaris* sp. *Trichuris* sp. *Toxocara* sp.,
 - bakterie z rodzaju *Salmonella*.

- Liczba bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*, określona na podstawie liczby bakterii tlenowych powinna wynosić mniej niż 1000 jednostek tworzących kolonie (jtk) na gram nawozu.
- Minimalne wymagania jakościowe dla nawozów organicznych wprowadzanych do obrotu od dnia 1 czerwca 2005 roku na podstawie zezwolenia ministra właściwego do spraw rolnictwa są następujące – nawozy organiczne w postaci stałej powinny zawierać co najmniej 40% substancji organicznej w przeliczeniu na suchą masę; w przypadku deklarowania w nich azotu, fosforu lub potasu albo ich sumy zawartość poszczególnych składników nie może być mniejsza niż:
 - 0,5 % (m/m) azotu całkowitego (N),
 - 0,3% (m/m) fosforu w przeliczeniu na pięciotlenek fosforu (P₂O₅),
 - 0,3 % (m/m) potasu w przeliczeniu na tlenek potasu (K₂O).

W większości krajów Unii Europejskiej obowiązują normy, które w zależności od poszczególnych składników dzielą kompost na klasy, określając w ten sposób jego przeznaczenie i możliwość zastosowania. W Polsce opracowana została norma branżowa BN-89/9103-09.

2.3. Wytwarzanie biogazu

Biogaz wytwarzany jest z substancji organicznej (biomasy) w procesie fermentacji beztlenowej. Fizycznie biogaz stanowi mieszaninę gazową składającą się głównie z metanu i dwutlenku węgla oraz śladowych ilości zanieczyszczeń takich jak siarkowodór, amoniak, azot, tlen czy wodór (Tabela 7). Skład jakościowy i udziały poszczególnych składników zależą od rodzaju surowca poddawanego procesowi fermentacji oraz od sposobu realizacji tego procesu. Wymienione zanieczyszczenia są zazwyczaj usuwane z biogazu przed jego energetycznym wykorzystaniem.

Tabela 7 Procentowa zawartość składników biogazu (Steppa 1998)

Składnik	Zawartość	
	Zakres (%)	Średnio (%)
Metan (CH ₄)	52-85	65
Dwutlenek węgla (CO ₂)	14-4	34,8
Siarkowodór (H ₂ S)	0,08-5,5	0,2
Wodór (H ₂)	0-5	Substancja śladowa
Lenek węgla (CO)	0-2,1	Substancja śladowa
Azot (N ₂)	0,6-7,5	Substancja śladowa
Tlen (O ₂)	0-1	Substancja śladowa

Procentowy udział metanu w biogazie stanowi o jego wartości opałowej. Im większy jego udział, tym większa wartość kaloryczna biogazu. Biogaz o zawartości 65% metanu ma wartość kaloryczną 23 MJ/m³. Biogaz zastępuje tradycyjne nośniki energii. Jeden metr sześcienny biogazu o wartości opałowej 26 MJ/m³ jest równoważny przykładowo 0,77 m³ gazu ziemnego lub 1,1 kg węgla kamiennego.

Substraty do produkcji biogazu

Biogaz produkowany może być z różnych substratów co w konsekwencji powoduje powstanie biogazu o różnych wartościach kalorycznych. Ogółem materiał wyjściowy podzielić można na trzy podstawowe kategorie: rolnicze, pochodzenia komunalnego oraz przemysłowego (Tabela 8).

Tabela 8 Podział substratów do produkcji biogazu ze względu na pochodzenie (Oniszk-Popławska i in. 2003)

Substraty rolnicze:	Substraty komunalne:	Substraty przemysłowe:
<ul style="list-style-type: none"> - odchody zwierząt, - uprawy energetyczne, - odpady z hodowli roślin. 	<ul style="list-style-type: none"> - frakcja organiczna odpadów miejskich, - osad ściekowy, - ścinki trawy i odpady ogrodnicze, - resztki jedzenia. 	<ul style="list-style-type: none"> - odpady z przemysłu spożywczego, - mleczarskiego, - cukrowniczego, - farmaceutycznego, - kosmetycznego, - biochemicznego, - papierniczego, - mięsnego.

Typy biogazowni

W Polsce istnieją zasadniczo trzy różne typy instalacji:

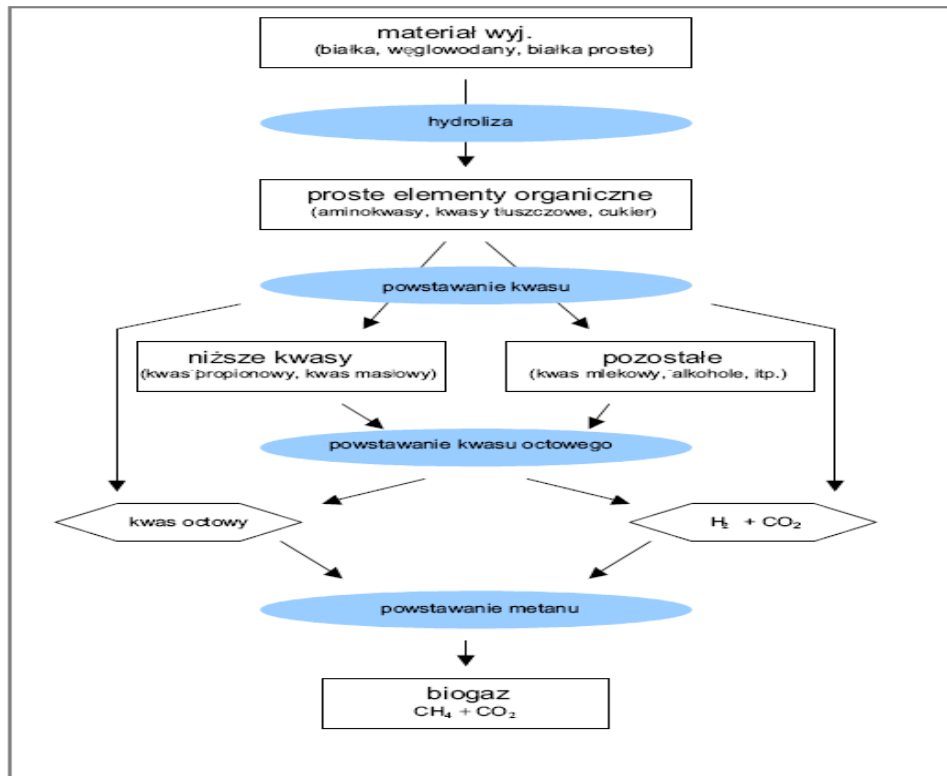
- fermentacje osadów ściekowych w biologicznych oczyszczalniach ścieków,
- ujęcia biogazu na składowiskach odpadów,
- biogazownie rolnicze.

Produkcja biogazu dostarczającego energię na potrzeby własne oczyszczalni ścieków i jednocześnie zapewniająca stabilizację osadów ściekowych jest rozwiązaniem najpowszechniej stosowanym. W roku 2006 wytworzono w kraju 1804 TJ biogazu z osadów ściekowych (GUS 2007).

Podczas eksploatacji składowisk odpadów komunalnych biogaz, zwany w tym przypadku gazem wysypiskowym, jest produkowany samoczynnie. W celu jego wychwytywania stosowane są zarówno bierne jak i aktywne (z zasysaniem) systemy odgazowania. Ze względu na bardzo zmienny w czasie skład gazu wysypiskowego bardzo często jest on spalany w pochodni. Mimo, że zainteresowanie energetycznym wykorzystaniem tego gazu stale wzrasta, pewnym problemem jest kwestia zagospodarowania wytworzonej energii cieplnej – zbyt niskie potrzeby własne składowiska i niekorzystna lokalizacja względem potencjalnych odbiorców. W roku 2006 w Polsce pozyskano 791 TJ energii biogazu z wysypisk odpadów (GUS 2007).

W Europie biogazownie rolnicze są szeroko rozpowszechnione, tymczasem w Polsce praktycznie nie wytwarza się biogazu rolniczego. Występuje szereg barier utrudniających i hamujących rozwój biogazowni rolniczych w Polsce. Chodzi tu między innymi o brak zaplecza technicznego i merytorycznego, konieczność korelacji produkcji biogazu z odbiorem

ciepła, brak instalacji demonstracyjnych, a także brak programów upowszechnieniowych. Bardzo istotne znaczenie ma brak mechanizmów ekonomicznych poprawiających rentowność biogazowni rolniczych, chodzi to m. in. o brak programu wsparcia dla budowy biogazowni rolniczych, brak gwarancji ceny sprzedaży energii elektrycznej i ciepła ze źródeł odnawialnych.



Rysunek 1 Schemat procesu produkcji biogazu (Oniszk-Popławska i in. 2003)

Wydajność i szybkość przebiegu fermentacji zależy w dużym stopniu od temperatury. Wyróżniamy trzy rodzaje fermentacji w zależności od zakresu temperatur: psychrofilna w temperaturze 10-25 °C, mezofilna w temperaturze 30-35 °C i termofilna w temperaturze 52-55 °C. Produkcja biogazu opłacalna jest jedynie dla fermentacji mezofilnej i termofilnej (Oniszk-Popławska i in. 2003).

Czas retencji substratu w komorze fermentacji jest dostosowany do rodzaju wsadu, aby zagwarantować jego pełny rozkład. Różne substancje organiczne ulegają rozkładowi w różnym tempie, przykładowo tłuszcze rozkładają się szybko, więc wsad o podwyższonej zawartości tłuszczu wymaga krótszego czasu retencji, z kolei celuloza rozkłada się dość wolno, zatem substrat z dużą zawartością celulozy wymaga dłuższego czasu retencji. Przykładowo dla gnojowicy bydlęcej czas retencji wynosi 12-18 dni (fermentacja mezofilna).

Czas retencji jest także uzależniony od temperatury w jakiej przebiega proces fermentacji. W niższej temperaturze 30-35 °C w warunkach mezofilnych rozkład substancji organicznych przebiega wolniej, a czas retencji trwa od 12 do 36 dni. W temperaturze 52-55 °C

w warunkach termofilnych, substancje organiczne rozkładają się szybciej i czas retencji trwa krócej od 12 do 14 dni (Oniszk-Popławska i in. 2003).

Mieszanie jest niezbędne w celu zapewnienia przebiegu procesu w sposób jednorodny w całej objętości komory, utrzymania jednakowej ciepłoty, jednorodnej konsystencji, umożliwienia łatwiejszego odgazowania i zmniejszenia zawartości rozpuszczonego CO₂, umożliwienia wydzielania wody nadosadowej, a tym samym zagęszczenia biomasy. Ponadto mieszanie biomasy zwiększa dostęp bakterii do cząstek substancji organicznej, zapobiega rozwarstwianiu się biomasy i spadkowi aktywności bakterii, zapewnia jednorodne rozprowadzenie dopływającej biomasy w fermentującej masie, a w konsekwencji przyspiesza proces fermentacji (Oniszk-Popławska i in. 2003).

Obciążenie komory ładunkiem jest stosunkiem ilości dostarczanego materiału, jego uwodnienia i zawartości substancji organicznych do pojemności komory. Obciążenie komory ma zasadniczy wpływ na przebieg procesu fermentacji i produkcji biogazu. Przy zwiększaniu ładunku do wartości granicznej zwiększa się produkcja biogazu. Po osiągnięciu maksimum produkcja maleje (następuje przeciążenie układu). Konieczne jest, więc rozpoznanie optymalnego zakresu obciążenia komory fermentacyjnej (Romaniuk 2001).

Tabela 9 Pozytywne i niekorzystne aspekty produkcji biogazu i zastosowania przefermentowanej gnojowicy w rolnictwie (Oniszk-Popławska i in. 2003)

Pozytywne	Niekorzystne
<ul style="list-style-type: none"> - produkcja energii odnawialnej, - ograniczenie emisji metanu, - ograniczenie emisji podtlenku azotu, - zmniejszenie efektu cieplarnianego, - zmniejszenie emisji dwutlenku siarki i tlenków azotu, - zmniejszenie zanieczyszczenia wód podziemnych i powierzchniowych, - redukcja emisji odorów, zmniejszenie zagrożenia sanitarnego, - poprawa jakości gnojowicy jako nawozu, - rozwiązanie problemów odpadów organicznych, - dostęp do alternatywnego źródła energii, - aspekty ekonomiczne, - zwiększenie liczby miejsc pracy 	<ul style="list-style-type: none"> - ryzyko zwiększonej emisji amoniaku, - ryzyko skażenia środowiska substancjami toksycznymi, - zmniejszenie zawartości węgla organicznego.

3. Charakterystyka biomasy z późnego koszenia łąk „wodniczkowych”

Zbiorowiska roślinne Biebrzańskiego Parku Narodowego

W dolinie Biebrzy wielkie powierzchnie, ciągnące się wzdłuż koryta rzeki na siedliskach zatapianych wodami wylewającej rzeki zajmuje szuwar mанны mielec. Tam gdzie zalewy są płytsze, dalej od koryta rzeki, występuje szeroka strefa turzycowiska turzycy zaostrojonej. Jeszcze dalej turzycy sztywnej. W strefie sporadycznie zalewanej dominuje turzycowisko mszyste o strukturze kępowej z turzycą tunikową i goryszem błotnym. Tam gdzie nie docierają wody zalewowe (strefa emersyjna) występują mechowiska (www.biebrza.org.pl).

Wyróżnione typy siedlisk charakteryzują się odmiennym składem gatunkowym oraz inną produktywnością z jednostki powierzchni. Najbardziej produktywne są zbiorowiska nadbrzeżne, okresowo zalewane, w których dominuje trzcina. Plon suchej masy może wahać się w przedziale od 3,0 do 5,0 t/ha. Zbiorowiska położone dalej od koryta rzeki, zdominowane przez turzycę osiągają plon suchej masy na poziomie 2,0-3,0 t/ha. Zbiorowiska położone na terenach wyniesionych, w których pojawiają się rośliny dwuliścienne, charakteryzują się plonem rzędu 1,5-2,0 t/ha. Są to plony oszacowane metodą ekspercką odpowiadające koszeniu jeden raz w roku. Łąki, na których gniazduje wodniczka, to turzycowiska strefy okresowo zalewanej. Dla potrzeb niniejszego opracowania przyjmuje się, że plon suchej masy łąk „wodniczkowych” wynosi średnio 2,5 t/ha w przypadku koszenia letniego oraz odpowiednio 1,5 t/ha dla koszenia zimowego.

Zawartość suchej masy w świeżej masie koszonej roślinie wraz z upływem okresu wegetacyjnego. Dla traw koszonych w czerwcu i lipcu zawartość suchej masy jest na poziomie 20%. Trawy wykłoszone, które koszone są późnym latem będą miały zawartość suchej masy na poziomie 25-35%. Mniejszą zawartość suchej masy będą miały zbiorowiska roślinne nadbrzeżne. Wartości te nie pochodzą z rzeczywistych pomiarów na omawianych terenach, są jedynie pewnym eksperckim przybliżeniem.

Zbiór siana na paszę w dolinie Biebrzy tradycyjnie składał się z dwóch etapów koszenia łąk w ciągu lata. Pierwsze koszenie miało miejsce w pierwszej połowie czerwca, natomiast drugie koszenie w połowie sierpnia. Pozwalało to na wysuszenie siana na łące, zebranie i zwiezenie do gospodarstwa. Na tej podstawie przyjmuje się, że w przypadku łąk na terenach wyniesionych, trawy koszone po 1 sierpnia będzie można wysuszyć na łące, sprasować i zwieźć do miejsca składowania. W przypadku turzycowisk, na których gniazduje wodniczka, mamy do czynienia z obszarami położonymi niżej, które charakteryzują się wysokim poziomem wód gruntowych. Tereny te są w wielu wypadkach grząskie i wymagają zastosowania specjalistycznych maszyn do koszenia.

Największy udział w biomase pozyskiwanej z terenów „wodniczkowych” mają turzycy i trzciny. Ze względu na restrykcje dotyczące terminu pozyskiwania materiału, tzn. po 1 sierpnia, przewiduje się jego znaczną wilgotność w momencie koszenia na poziomie 50-75%. Rozwiązaniem pozwalającym uniknąć koszenia mokrej biomasy jest pozyskiwanie materiału w okresie zimowym. Pokos z zimowego koszenia odznacza się jednak mniejszą wydajnością, ze względu na fakt, iż noże kosiarek znajdują się wyżej – unika się w ten sposób

zbierania wilgotnej materii przyściółkowej. W przypadku turzyc i traw będzie też problem z wyleganiem pod ciężarem śniegu. Wilgotność materiału koszonego zimą może spadać do 35% (źdźbła, które nie uległy wyleganiu). Koszenie zimowe może umożliwić pozyskanie materiału o niższej wilgotności, choć nie jest to regułą dla każdego terenu.

Według obecnie obowiązujących przepisów koszenie zimowe nie kwalifikuje się do dopłat rolno-środowiskowych. Pewnego rozwiązania tej sytuacji upatruje się we wprowadzeniu specjalnych dopłat do koszenia zimowego na obszarach Natura 2000, w wypadku gdy koszenie zimowe zostanie przewidziane w planach zarządzania tymi obszarami. Obecnie jednak w Polsce kompletne plany zarządzania obszarami Natura 2000 nie zostały jeszcze opracowane i zatwierdzone (OTOP 2008).

Zbiorowiska roślinne Pomorza Zachodniego

Na Pomorzu Zachodnim do terenów ochronnych wodniczki należą:

- Kasiborska Kępa, 300 ha,
- Krajnik, 365 ha,
- Jezioro Miedwie, 15921 ha,
- Bagna Rozwarowskie 1170 ha,
- Woliński Park Narodowy 10937 ha,
- Zajęcie Łęgi, 400 ha,

Są to głównie obszary o roślinności szuwarowej trzcinnej i turzycowej.

Charakterystyka trzcin na podstawie literatury

W porównaniu do węgla kamiennego trzcinę, tak jak biomasa innego rodzaju, charakteryzują się niższą wartością opałową i wyższą zawartością części lotnych. Natomiast korzystna jest dużo niższa zawartość azotu i siarki (Tabela 10). Wartość opałowa suchej masy trzcin wynosi 17,7 MJ/kg (Barz i in. 2007). Jest to stosunkowo wysoka wartość w porównaniu do drewna, jednak istotna różnica tkwi w składzie chemicznym biomasy. Przede wszystkim trzcinę charakteryzują się znacznie wyższą zawartością popiołu oraz azotu, siarki, chloru i krzemionki w porównaniu do drewna. Stanowi to pewne utrudnienia dla technologii energetycznego wykorzystania tego rodzaju biomasy (zobacz Rozdział 4.1). Zawartość chloru ulega znacznemu obniżeniu w przypadku obmycia skoszonego materiału roślinnego przez deszcz (wyplukiwanie chloru) (Grzybek 2001, Barz i in. 2006).

Tabela 10 Zestawienie wybranych właściwości fizyko-chemiczne różnego rodzaju biomasy w suchej masie oraz węgla kamiennego

	Wartość opalowa (MJ/kg)	Części lotne (%)	Zawartość popiołu (%)	C (%)	N (%)	S (%)	Cl (%)	SiO ₂ (%)
Siano ^a	18,41	b. d.	5,7	44,8	1,6	0,13	0,24	b. d.
Trzcina pospolita ^b	17,7	66,8	8,8	46,5	0,3	0,14	0,16	3,3
Mozga trzcinowata ^c	b. d.	b. d.	8,5-8,8	b. d.	0,9	b. d.	b. d.	2-6-5,6
Kostrzewa ^b	b. d.	b. d.	7,0-7,6	b. d.	1,0	b. d.	b. d.	1,5-2,0
Miskant ^b	17,8	81,0	2,7	47,2	0,7	0,13	0,23	b. d.
Słoma pszeniczna ^b	17,1	79,6	5,3	46,7	0,4	0,1	0,4	b. d.
Drewno sosnowe ^b	18,7	84,0	0,3	50,9	0,2	0,02	0,01	b. d.
Węgiel kamienny ^b	31,8	38,8	6,8	79,4	1,5	1,0	<0,2	b.d.
Węgiel kamienny ^d	25,0	25,0	12,0	59,0	1,0	0,8	0,08	b. d.

a – Baza danych <http://www.ecn.nl/phyllis/single.html>

b – Barz i in. 2006

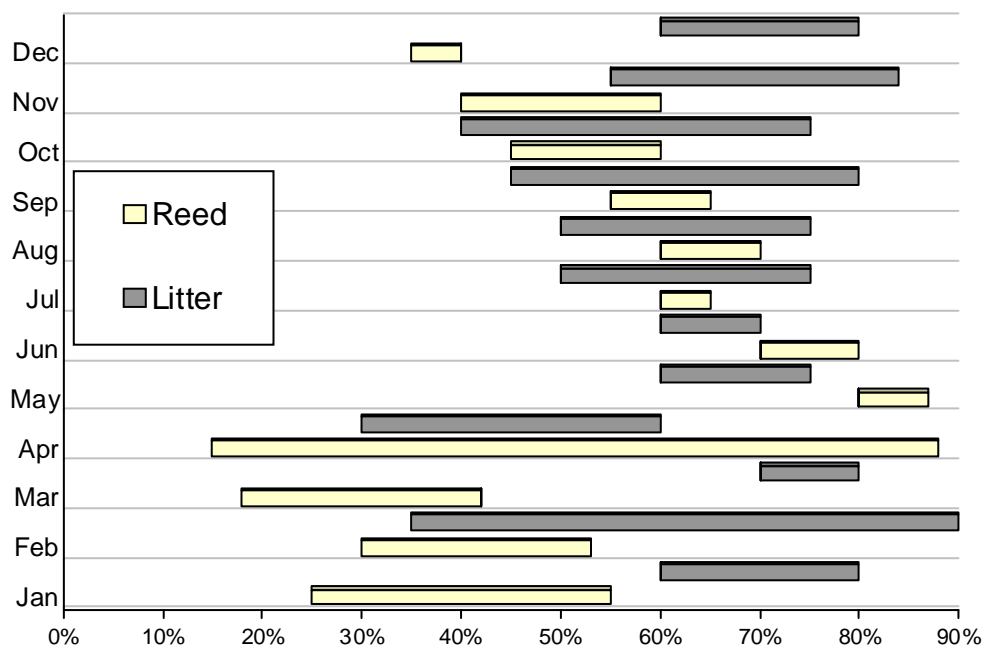
c – Saijonkari-Pahkala 2001

d – Grzybek 2001

b.d. – brak danych

Trzciny wykazują dużą zmienność wilgotności w ciągu roku (Rysunek 2). W warunkach środkowej Anglii, skąd pochodzą prezentowane badania, trzciny osiągają najmniejszą wilgotność zimą, jednak łączy się to z ryzykiem występowania mokrego i grząskiego podłożem, co bardzo utrudnia, bądź uniemożliwia zbiór maszynowy. W sierpniu oraz wrześniu, kiedy odbywałoby się koszenie łąk „wodniczkowych”, wilgotność trzciny waha się w zakresie 50-75%. Dla porównania słoma zbożowa w momencie zbioru charakteryzuje się w warunkach polskich wilgotnością w zakresie 15-20%.

% Moisture Content per month for Reed and Litter



Rysunek 2 Wilgotność trzciny (reed) oraz ściółki (litter) w ciągu roku (Darroch-Thompson, Ash 2003)

Jak szacuje Darroch-Thompson oraz Ash (2003) wraz z każdym 1% przyrostu wilgotności biomasy, następuje spadek wartości opałowej o 1,2%. Przy wilgotności na poziomie 83%, wartość opałowa wynosi zero (Tabela 11).

Tabela 11 Zależność wartości opałowej od wilgotności (Darroch-Thompson, Ash 2003)

Wilgotność	Redukcja wartości opałowej (do suchej masy)	Wartość opałowa
20%	24%	14.4 MJ / kg net
50%	60%	7.6 MJ /kg net
83%	100%	0 (braz wartości opałowej)

W praktyce spalanie biomasy jest uzasadnione i technicznie wykonalne przy wilgotności co najwyżej 50%, co oznacza, że biomasa pozyskiwana po 1 sierpnia wymaga suszenia. Suszenie jest kluczowe dla zbioru i transportu. Tradycyjny sposób suszenia trzciny to koszenie i suszenie w formie wiązek/snopków, jednak jest to metoda bardzo pracochłonna i kosztowna. W przypadku wykorzystania trzciny na cele energetyczne nie jest to metoda uzasadniona kosztowo.

Darroch-Thompson oraz Ash (2003) wskazują także na zależność gęstości nasypowej od wilgotności, co bardzo silnie będzie wpływało na możliwości i koszty zbioru i transportu biomasy z łąk (Tabela 12). Przy dużej wilgotności zbieramy i transportujemy wraz z biomasą duże ilości wody (zmienia się stosunek zawartości suchej masy do zawartości wody w jednostce objętości).

Tabela 12 Wilgotność i gęstość nasypowa biomasy trzciny (opracowanie własne na podstawie Darroch-Thompson, Ash 2003)

Wilgotność	Gęstość nasypowa (materiał luzem)
15%	80 to 100 kg/mp*
50%	140 to 200 kg/mp
80%	200 to 400 kg/mp
Zrębki drzewne (ok. 50%)	330 kg/mp

4. Ocena możliwości utylizacji traw z późnego koszenia

4.1. Spalanie

Zagospodarowanie biomasy pozyskanej z późnego koszenia (po 1 sierpnia) zrealizować można na drodze spalania. Rozwiązanie to niesie za sobą szereg korzyści głównie ze względu na dużą dostępność technologii spalania. Są jednak pewne ograniczenia związane z własnościami fizykochemicznymi samego materiału i konieczności jego wstępnej obróbki, głównie suszenia. Ze względu na brak dokładnej charakterystyki fizykochemicznej omawianego materiału z łąk w Dolinie Biebrzy oraz Pomorza Zachodniego w toku rozdziału posłużono się odniesieniem do danych literaturowych.

Trawy i turzyce sprasowane do postaci kostek lub bel wymagają zastosowania kotłów wsadowych przystosowanych do spalania słomy. Natomiast z praktyki użytkowników kotłów wiadomo, że materiał trawiasty w postaci paliw zagęszczonych (pelety, brykiety) może być także spalany w kotłach na drewno.

Na chwilę obecną na rynku rozpowszechnione są kotły na słomę w dwóch zakresach mocy; małe 30-50 kW oraz duże 300 i 500 kW. Zasilane są z reguły balotami o wymiarach 40×40×80 cm dla kotłów o małej mocy. Dla większych jednostek stosuje się baloty okrągłe o średnicy 125-170 cm bądź też kilka małych. Kotły o dużej mocy (kilkaset kW oraz większe) wyposażone są w zautomatyzowany ciąg technologiczny służący przygotowaniu i podaniu paliwa do paleniska. W skład takiego ciągu wchodzi szereg elementów jednostkowych, takich jak: automatyczny podajnik odpowiedniej ilości materiału do rozdrabniacza, rozdrabniacz przygotowujący paliwo o odpowiedniej frakcji zapewniając tym samym prawidłowy przebieg spalania oraz sam w pełni zautomatyzowany kocioł z kontrolowanym przebiegiem procesu spalania (temperatura). Ostatnim ogniwem jest cyklon, w którym następuje oddzielenie części stałych ze spalin (EC BREC 2003).

Jako pierwszy i najważniejszy parametr decydujący o przebiegu procesu spalania należy wymienić wilgotność paliwa. Zbyt wysoka wilgotność materiału wpływa na zmniejszoną ilość uzyskanej energii, ale wpływa również bardzo niekorzystnie na przebieg samego spalania, powodując podwyższone emisje zanieczyszczeń w spalinach. Maksymalna dopuszczalna wilgotność jest różna dla różnych instalacji, na ogół waha się w granicach 18-25% (Grzybek 2001).

Zawartość azotu jest niska i nie występują problemy z tworzeniem się tlenków azotu (Barz i in. 2007). Jednak w porównaniu do biomasy drzewiastej trzciny i trawy mają podwyższoną zawartość chloru, siarki oraz popiołu (patrz Tabela 10 str. 25), które mogą powodować szkodliwe emisje oraz zaburzenia procesu spalania, jeśli spalanie prowadzone jest z wykorzystaniem tradycyjnych kotłów wielopaliwowych. Tworzą się wówczas SO_x oraz HCl. Zwłaszcza zawartość chloru zwiększa ryzyko korozji chlorowej.

Biomasa trzciny, turzycy oraz słoma charakteryzują się podwyższoną zawartością popiołu oraz chloru i metali alkalicznych w porównaniu z biomasa drzewiastą. Trawy i trzciny mają stosunkowo wysoką zawartość potasu, co obniża temperaturę topnienia popiołów powodując korozję elementów kotła i gromadzenie się twardych osadów. W przypadku spalania trzciny temperatura topnienia popiołów wynosi 1420°C (Barz i in. 2007). Obserwowano w procesie

spalania tworzenie się osadów. Zawartość popiołów powyżej 9% powodowała gromadzenie się depozytu, który zaburzał dopływ powietrza do paleniska i obniżał efektywność energetyczną procesu.

Jeszcze innym problemem, który pojawia się przy spalaniu biomasy trawiastej jest wystąpienie substancji smolistych (osady) w kotle. Rozwiązaniem tego problem jest stosunkowo proste – konieczna jest optymalizacja temperatury spalania oraz odpowiednia cyrkulacja i nadmiar powietrza wdmuchiwanego do paleniska.

Ze względu na wskazane wyżej trudności jakie mogą pojawić się przy spalaniu traw, trzcin i słomy bardzo ważne jest prowadzenie procesu spalania w odpowiednio przystosowanych do tego rodzaju kotłach i w odpowiednim reżymie temperaturowym. Pozwala to na ograniczenie korozji, zapiekania się popiołów na ruszcie, jak również eliminuje emisję szkodliwych produktów niepełnego spalania do atmosfery. Kotły dedykowane spalaniu słomy i traw o automatycznej kontroli i sterowaniu procesem spalania eliminują wszelkie niedogodności (Gostkowski 2008).

Peletowanie i brykietowanie

Ze względu na niską gęstość usypową biomasy typu trawy, trzciny oraz słoma zalecane może być mechaniczne zagęszczanie tych paliw do postaci brykietów i peletów. Brykiety to paliwo uformowane z dodatkiem substancji wiążącej w formie wielościanu lub walca produkowane w procesie sprasowania sproszkowanej biomasy. Brykiety są zazwyczaj produkowane w prasach tłokowych. Całkowita zawartość wilgoci w brykiecie jest zwykle niższa niż 15% ich masy (CEN/TS 14588:2003). Pelety, podobnie jak brykiety wytwarzane są przez sprasowanie sproszkowanej biomasy z ewentualnym dodatkiem substancji wiążącej, są jednak znacznie mniejsze – pelety mają zwykle kształt walca o długości od 5 do 30 mm. Całkowita zawartość wilgoci w peletach biopaliwowych jest zwykle mniejsza niż 10% ich masy (CEN/TS 14588:2003).

Proces zagęszczania biomasy w prasach jest ściśle uzależniony od wilgotności materiału. Standardowo przyjmuje się, że biomasa poddawana peletowaniu i brykietowaniu powinna mieć wilgotność na poziomie 10-12%. Huston Engineering (2006) wskazuje, że trzcina poddana peletowaniu powinna mieć wilgotność poniżej 15%, przy czym w niektórych przypadkach dopuszczalna jest wilgotność na poziomie 18%. W przedsiębiorstwie „Carex” brykietowaniu poddawany jest materiał w postaci traw i trzcin o wilgotności w granicach 12-18% (Gogoł 2008). Niemożliwym jest bezpośrednie wykorzystywanie materiału o wilgotności 50-70% pochodzących z koszenia łąk. Koniecznością jest zastosowanie systemu suszenia pierwotnego na pokosie oraz wtórnego po wywiezieniu z łąk.

Biomasa w postaci słomy, traw, turzyc ma bardzo niską zawartość ligniny, która jest naturalnym lepiszczem wzmacniającym trwałość paliwa. Dlatego paliwa zagęszczone wykonane z biomasy łąkowej charakteryzują się niższą odpornością mechaniczną niż pelety czy brykiety z biomasy drzewnej. Jak podaje raport Huston Engineering (2006) pelety wykonane w 100% z trzciny charakteryzowały się niską twardością oraz stosunkowo niską gęstością usypową na poziomie 400 kg/m^3 . Normy dotyczące standaryzacji biopaliw stałych - szwedzka, austriacka i niemiecka – wskazują odpowiednio na gęstość usypową peletów powyżej 500 (szwedzka i austriacka), a nawet 1000 kg/m^3 (norma niemiecka) w zależności od klasy paliwa (Hunder 2007a). Niska odporność mechaniczna może powodować znaczne straty w transporcie i przeładunku. Dodatek biomasy drzewnej w formie zrębków wpływać będzie

na poprawę twardości i gęstości usypowej wytwarzanych paliw. Zadawalające wyniki osiągnięto dla mieszanki trzciny i zrębek drewna w stosunku 50/50 oraz 25/75 (Huston Engineering 2006).

Przystosowanie biomasy do procesów peletowania bądź brykietowania wymaga jej suszenia. Suszenie biomasy może mieć miejsce na powietrzu lub w pomieszczeniu zamkniętym z zastosowaniem suszenia wymuszonego – przewietrzanie strumieniem powietrza. Wobec braku dostępnych wyników badań dla suszenia biomasy łąkowej energochłonność suszenia procesu można przybliżyć poprzez suszenie zrębków. Suszenie 0,5 metrowej warstwy zrębków o wilgotności ok. 50% za pomocą powietrza o temperaturze otoczenia wymaga zużycia ok. 90 kWh/m przestrzeny biomasy w celu osiągnięcia wilgotności 25%. Suszenie podgrzanym powietrzem wymaga odpowiednio zużycia nawet 200 kWh/m przestrzeny (Hunder 2007b). Należy zaznaczyć, że proces suszenia biomasy łąkowej będzie bardziej wydajny dla analogicznej warstwy suszonego materiału. W szczególności proces suszenia zależy od wilgotności wyjściowej materiału, grubości warstwy, stopnia jej zagęszczenia.

4.2. Kompostowanie

Biomasa uzyskiwana z późnego koszenia (sierpień, wrzesień) traw charakteryzuje się innymi właściwościami fizyko-chemicznymi niż trawy z wczesnego koszenia (czerwiec-lipiec), a mianowicie:

- udział suchej masy w trakcie okresu wegetacyjnego wzrasta, natomiast wilgotność roślin maleje,
- niższa zawartość azotu,
- zwiększona ilość substancji takich jak lignina, celuloza, hemiceluloza trudno ulegających procesowi kompostowania bądź zakiszania.

Charakterystykę wybranych surowców pochodzenia rolniczego oraz zawartość składników w masie roślinnej przedstawiono w Tabeli 13. Dane te pochodzą z badania biomasy dostarczonej do kompostowni w Warszawie. Trawy zawierają mniej substancji organicznej niż zrębki. Pierwiastki biogenne takie jak azot organiczny, fosfor i potas występują w znacznie większej ilości niż w liściach i zrębkach. Porównując trawy świeże i suche (nie oznacza traw z późnego koszenia) największa różnica dotyczy zawartości azotu i fosforu – udział azotu w suchej masie jest wyższy dla traw suchych, natomiast znacznie spada zawartość fosforu. Zawartość potasu pozostaje na stałym poziomie w przeliczeniu na suchą masę.

Tabela 13 Charakterystyka biomasy dostarczanej do kompostowni w Warszawie (Wasiak i in. 1999)

Parametr	Jednostka	Świeża trawa	Sucha trawa	Liście	Zrębki	Zrębki grubych konarów
Sub. org.	% s.m.	89,4	88,1	85,2	95,3	97,4
N _{org.}	% s.m.	1,4	1,8	2,4	0,6	1,4
P ₂ O ₅	% s.m.	1,1	0,6	0,32	0,12	0,2
K ₂ O	% s.m.	1,7	1,6	0,8	0,5	0,5
Pb	mg/kg s.m.	1,9	3,6	11	5,6	0,7
Cd	mg/kg s.m.	0,2	0,3	0,03	0,17	0,1
Cr	mg/kg s.m.	6,0	6,5	2,1	2,2	5,5
Cu	mg/kg s.m.	9,8	11,8	8,3	5,6	5,1
Zn	mg/kg s.m.	60,4	50,8	50-73	33	57,5

W 1994 roku Instytut Ochrony Środowiska przeprowadził badania nad materiałem kompostowanym oraz jakością kompostu z odpadów zieleni warszawskiej (Tabela 14). Analizowano głównie:

- zestarzałe trawy,
- listowie drzew,
- rozdrobnione gałęzie drzew i krzewów (tzw. zrębki),
- częściowo rozłożoną roślinność wodną.

Zestarzałe trawy oraz trawy po wykłoszeniu się stanowią pewne przybliżenie dla biomasy z późnego koszenia łąk w dolinie Biebrzy i na Pomorzu Zachodnim. Zawartość substancji organicznej w masie była wysoka.

Tabela 14 Zawartości składników w roślinach dostarczonych do kompostowni Tobruk i Marywilska (Siuta 2000)

Próbka	Substancja organiczna % s. m.	N % s. m.	P ₂ O ₅ % s. m.	K ₂ O % s. m.
Sucha trawa	88,1	1,8	0,6	1,6
Próbka trawiasto zielna z zaniedbanych trawników	91,0	1,4	0,4	1,6
Liście, rozdrobnione gałęzie, odpady z parku, resztki traw	73,4	1,5	0,3	0,5
Roślinność zielna z trawami i lucerną	92,9	1,8	0,5	1,5
Trawa zestarzała, łodygi częściowo zgrubiałe	93,6	1,6	0,4	1,0
Roślinność zielna z trawami (świeża)	9,1			
Roślinność szuwarowa częściowo rozłożona	88,8	1,1	0,7	1,3
Trawa z udziałem roślinności zielnej po wykłoszeniu się	91,1	1,5	1,0	1,4
Trawa zestarzała, dużo części zdrewniałych	92,6	1,4	0,3	1,3

Wymieszany materiał, tj.: trawę, listowie drzew, rozdrobnione gałęzie drzew i krzewów (zrębki) i roślinność wodną, kompostowano w przyzmach 3-4 m szerokości i około 2,5 m wysokości. Zrębki układano w przyzmy razem z trawą i listowiem. W toku kilkakrotnego przekładania przyzm kompostowych następowało mieszanie i uśrednianie wyjściowych składników masy kompostowej. W początkowej fazie kompostowania temperatura osiągała 70-75 °C (Siuta 2000).

Trawy z późnego koszenia mogą być zagospodarowane jako substrat do produkcji kompostu, lecz ze względu na podwyższoną zawartość ligniny oraz innych trudno rozkładalnych substancji, proces kompostowania ulega wydłużeniu w stosunku do traw świeżych. Dość wysoka zawartość suchej masy negatywnie wpływa na rozdrobnienie kompostowanego materiału. Można również rozważyć współkompostowanie traw z późnego koszenia z innymi odpadami roślinnymi, tak jak to było w przypadku przedstawionego wyżej zagospodarowania odpadów zieleni warszawskiej.

4.3. Wytwarzanie biogazu

Do produkcji biogazu mogą być wykorzystywane różne substraty, poczynając od odpadów przemysłowych czy komunalnych aż do różnego rodzaju pozostałości produkcyjnych oraz substratów pochodzenia rolniczego. Bardzo ważną rolę gra tutaj dostępność substratów rozłożona równomiernie wedle potrzeb na przestrzeni całego roku, jak również odległość, na jaką są one transportowane do miejsca przetworzenia. Z analiz ekonomicznych wynika, iż opłacalne jest dowożenie biomasy do biogazowni na odległość nie większą niż 30 km (Bellebaum 2004).

Substancje organiczne ulegają rozkładowi w różnym tempie i w związku z tym najdłuższy czas retencji wymagany jest w przypadku podwyższonej zawartości celulozy, hemicelulozy, krótszy w przypadku białek, tłuszczu a najkrótszy dla cukrów. W przypadku substancji trudno rozkładalnych (celuloza, hemiceluloza, lignina) stosować można fermentację dwustopniową, pomocne może okazać się także wstępne rozdrobnienie lub rozpuszczenie substratów. Takie zabiegi są jednak kosztowne, co może znacznie wpłynąć na rentowność przedsięwzięcia. (Oniszk-Popławska 2003).

Biomasa koszona z łąk oraz użytków zielonych stanowić może dodatek do podstawowych substratów do produkcji biogazu, natomiast z powodu wysokiej zawartości substancji suchej nie nadaje się do użytku jako monosubstrat. Zawartość suchej masy w trawie koszonej w okresie kłoszenia się głównych gatunków (czerwiec-lipiec) wynosi ok. 15-20% natomiast ilość wyprodukowanego biogazu wahać się może od 150 do 200 m³ na tonę suchej masy substratu (Biogaz, Upgrading and Utilization, 1999). Dokładne dane dotyczące możliwości produkcji biogazu z traw są jednak trudne do określenia ze względu na różnice w:

- jakości gleby,
- warunkach klimatycznych,
- rodzaju i gatunku roślin,
- stopniu dojrzałości roślin w chwili koszenia.

Późne koszenie traw łączy się ze zmianami właściwości uzyskanej biomasy w stosunku do traw z wczesnego koszenia (czerwiec – lipiec). Podczas okresu wegetacji procent wilgotności roślin maleje a wzrasta udział suchej masy. Trawy z późnego koszenia charakteryzują się również niższą ilością składników pokarmowych, zwłaszcza azotu, oraz zwiększoną ilością substancji takich jak celuloza, lignina, suberyna, kutyna, które trudno ulegają procesowi fermentacji lub zakiszenia (Latocha 2008).

Należy również wspomnieć o wpływie wykorzystania traw z późnego koszenia na samą instalację biogazową. W celu wykorzystania traw do produkcji biogazu późne koszenie powinno być poprzedzone koszeniem wiosennym i letnim, w przeciwnym wypadku w materiale zgromadzona jest nadmierna ilość krzemu. Wprowadzenie takiej ilości krzemu do systemu biogazowni wpływa niekorzystnie na jej elementy technologiczne oraz wiąże się z produkcją biogazu niskiej jakości (opinia ekspercka).

Z opinii ekspertów wynika, iż trawy koszone w czerwcu i lipcu nadają się do produkcji biogazu jedynie jako substrat dodatkowy. Można teoretycznie rozważać dodawanie

rozdrobionych traw jako składnika substratu w biogazowniach rolniczych. Jednak rozdrobnienie traw z późnego koszenia, jak również poddanie ich długiemu procesowi fermentacji lub procesowi fermentacji dwustopniowej łączy się ze wzrostem kosztów wyprodukowania biogazu, które mogą okazać się zbyt wysokie, aby taka produkcja była opłacalna.

Rozpoczęcie produkcji biogazu głównie w oparciu o biomasę pochodzącą z późnego koszenia łąk nie jest działaniem popartym pozytywnymi wynikami analiz ekonomiczno-celowych. Ze względu na stosunkowo niekorzystne właściwości fizyko-chemiczne substratu, na krótko-okresową jego dostępność oraz inne wyżej wspomniane czynniki jedyną możliwością zagospodarowania traw z późnego koszenia do produkcji biogazu wydaje się być oddanie jej do istniejącej już biogazowni. To z kolei łączy się ze znalezieniem działającej już jednostki w promieniu ok. 30 km od miejsca koszenia biomasy, która byłaby zainteresowana przeprowadzeniem fermentacji w niskiej temperaturze z przedłużonym okresem retencji.

Należy wspomnieć, iż znalezienie jednostki spełniającej wszystkie te warunki może być trudne ze względu na obecne uwarunkowania produkcji biogazu rolniczego w Polsce (Rozdz. 2). Dlatego nie zaleca się zagospodarowywania traw z późnego koszenia jako podstawowego substratu do produkcji biogazu.

5. Prezentacja studiów przypadku

Charakterystyka rzeczywistych instalacji wykorzystujących biomasę łąkową. Dla każdej z nich przedstawiono krótki opis technologii, koszty inwestycyjne, zidentyfikowane korzyści, problemy.

5.1. Spalanie w małej skali – spalanie balotów

Dzięki współpracy Polskiego Towarzystwa Przyjaciół Przyrody "pro Natura", Dolnośląskiej Fundacji Ekorozwoju i gminy Wińsko przeprowadzono w zespole szkół w Wińsku wymianę kotłów węglowych na kotły opalane biomasą i wykonano termomodernizację budynków szkolnych. Środki na inwestycje pozyskano z Fundacji EkoFundusz, NFOŚiGW, WFOŚiGW i kredytu termo-modernizacyjnego. Dzięki temu przedsięwzięciu udało się rozwiązać pojawiający się problem zagospodarowania biomasy z koszenia łąk.

Trawy są koszone i suszone. Zbierane siano przeznacza się do spalania w zmodernizowanej kotłowni. W efekcie stworzono lokalny rynek na siano i słomę, dzięki czemu pieniądze przeznaczone na zakup opału pozostają na terenie gminy. Tym samym stworzono zachętę ekonomiczną do utrzymywania łąk ekstensywnych.

W zespole szkół w Wińsku zainstalowano dwa kotły wsadowe o mocy 400 kW każdy, zasilane paliwem w postaci siana i słomy w formie balotów (bel okrągłych) o średnicy 150 cm. Jak ustalono w rozmowie z dyrekcją szkoły w Wińsku w przypadku tej instalacji istnieje ograniczenie odnośnie zawartości wilgoci w paliwie na poziomie 14%. Kotłownia ogrzewa cztery budynki zespołu szkół, w skład których wchodzi sala gimnastyczna, budynek przedszkola oraz dwa budynki mieszczące gimnazjum.

Koszty inwestycji, w skład której wchodziła wymiana kotłów węglowych na kotły na biomasę, działania termomodernizacyjne polegające na ociepleniu budynków i wymianie okien wyniosły w 2002 roku około cztery miliony złotych. Na chwilę obecną koszt zakupu kotła o mocy 400 kW wynosi około 65-72 tys. zł netto plus zbiornik akumulacyjny o koszcie 22-30 tys netto.

Zaopatrzenie w paliwo realizowane jest na podstawie kontraktów rocznych. Każdego roku ogłaszany jest przetarg na dostawę opału do zespołu szkół.

Opracowano na podstawie wywiadu telefonicznego z dyrektorem Sabiną Lubaczewską z PTPP "pro Natura" oraz dyrektorem Zespołu Szkół w Wińsku.

5.2. Spalanie w małej skali – brykietowanie

Gmina Trzciannie usytuowana jest na terenie Biebrzańskiego Parku Narodowego. Na jej terenie znajdują się znaczna ilość pół-naturalnych łąk użytkowanych rolniczo. Siano pozyskiwane jest na cele energetyczne.

Lokalny samorząd prowadzi aktywną politykę proekologiczną, w roku 2004 rozpoczęto, akcję promującą wymianę kotłów węglowych na kotły zasilane biomasą. Ze względu na dużą

różnorodność dostępnej lokalnie biomasy wykorzystuje się kotły na drewno, które dają możliwość spalania biomasy w różnej formie: zrębki drzewne, pelety, brykiety, ale również brykiety z siana. W obrębie gminy na chwilę obecną istnieją kotły o mocy łącznej zainstalowanej 1150 kW – są to kotły w obrębie prywatnych gospodarstw jak i w budynkach użyteczności publicznej.

W budynku gdzie mieści się urząd gminy w Trzciannym zainstalowany jest kocioł o mocy 50 kW, który w pełni zaspokaja zapotrzebowanie na energię cieplną w skali roku. Kocioł ten jest zasilany brykietami z siana pochodzącego z okolicznych łąk znajdujących się na terenie Biebrzańskiego parku Narodowego i w jego otulinie. Koszt zainstalowania kotła o mocy 40-50 kW to w zależności od dostawcy 16-20 tysięcy złotych netto.

Brykiety z biomasy łąkowej produkowane są w gospodarstwie pana Michała Gogoła. Dzierżawi on linię do produkcji brykietów zakupioną przez Towarzystwo Przyjaciół Narwiańskiego Parku Narodowego przy pomocy dotacji z Fundacji EkoFundusz. Orientacyjny koszt zakupu linii to 200 000 tys. zł. W roku 2008 pomiędzy Michałem Gogołem a Urzędem Gminy Trzcianne podpisana została umowa o dostarczaniu brykietu do ogrzewania budynku urzędu gminy. Część surowca dostarczana jest przez gminę Trzcianne łącznie z pokryciem kosztów dowozu, w tym wypadku wyprodukowany brykiet sprzedawany jest odbiorcy po cenie odpowiadającej kosztom produkcji paliwa pomniejszonym o koszt surowca. Dodatkowo p. Gogoł prowadzi koszenie łąk na terenie Narwiańskiego PN pozyskując biomasę z obszaru ok. 50 ha. Są to zarówno łąki trzcinowiskowe jak i turzycowiskowe. Koszenie i pozyskanie biomasy odbywa się w ramach umowy z dyrekcją parku i stanowi korzyść dwustronną: dla dyrekcji parku – realizacja zabiegów ochronnych a dla p. Gogoła – pozyskanie surowca do produkcji brykietu. W odróżnieniu od Biebrzańskiego PN łąki na terenie Narwiańskiego PN są mniej grzaskie w późnych miesiącach letnich, co daje możliwość koszenia ciągnikiem rolniczym. Skoszona biomasa jest suszona na pokosie, prasowana do postaci dużych balotów i transportowana na odległość ok. 10 km do gospodarstwa, gdzie jest składowana i następnie sukcesywnie przetwarzana na brykiet w ciągu całego roku. Biomasa bezpośrednio przed procesem brykietowania musi mieć wilgotność rzędu 12-18%. Wydajność linii to 350 kg brykietu na godzinę. Cena brutto brykietów z siana kształtuje się na poziomie 460 zł/t (Gogoł 2008).

Informacje uzyskano w wywiadzie telefonicznym z zastępcą wójta Gminy Trzcianne panem Antonim Stefanowiczem oraz p. Michałem Gogołem.

5.3. Spalanie w małej skali – małe kostki

Na obszarze Przemkowskiego Parku Krajobrazowego oraz w jego otulinie występuje duże udział terenów podmokłych, co jest związane z geograficznym położeniem parku. W skład biomasy dostępnej z łąk wchodzi biomasa trzcinowa oraz roślinność turzycowiskowa. Trzciny są pozyskane na cele przemysłowe przez prywatnych przedsiębiorców. Gospodarstwo Piątkowski na bazie umowy podpisanej z dyrekcją parku zajmuje się zagospodarowaniem łądyg trzcin, natomiast niewykorzystana reszta pozostaje do zagospodarowania jako paliwo w lokalnej ciepłowni.

Ze względu na dostępność potencjalnego paliwa dyrekcja parku podjęła decyzję o modernizacji lokalnej kotłowni. W ten sposób zakupione zostały dwa kotły wsadowe

o mocach odpowiednio 65 i 100 kW zasilane kostkami, tzw. małe kostki (36×46×80 cm) produkowanymi ze słomy, siana, trzciny. Mniejszy kocioł zasilany jest czterema kostkami, natomiast większy sześcioma kostkami paliwa jednorazowo. Zastosowane kotły wyprodukowała firma METALERG Sp. z o. o. Na chwilę obecną koszty zakupu tych kotłów wynoszą odpowiednio 16 900 i 25 800 zł netto.

Biomasa z terenu parku wykorzystywana do spalania pochodzi z koszenia zimowego (koszenie odbywa się od listopada do marca). Biomasa koszona zimą jest stosunkowo sucha i z tego względu rozwiązany jest problem suszenia. Ze względu na podmokły charakter gruntów konieczne jest wykorzystanie specjalistycznego sprzętu o niskim jednostkowym nacisku na podłoże. Stosuje się tu pojazdy gąsienicowe oraz kołowe wyposażone w tzw. opony balonowe (opona o dużym profilu i z niskim ciśnieniem powietrza).

Paliwo do zasilania kotłowni otrzymywane jest za darmo w ramach umowy z panem Piątkowskim, który pozyskując na terenie parku trzcinę na cele budowlane, np. pokrycia dachowe, przekazuje materiał gorszej jakości na cele grzewcze do kotłowni. Rozwiązanie to jest bardzo atrakcyjne ekonomicznie dla dyrekcji parku, ponieważ paliwo do ciepłowni pozyskiwana jest za darmo.

W toku eksploatacji kotłów wystąpiły pewne problemy spowodowane jakością paliwa. Ze względu na ogólną zawartość wilgoci na poziomie około 20% wystąpiły dwa rodzaje problemów. W przypadku spalania kostek ze znacznym udziałem trzciny występowało zjawisko niepełnego spalania – powstawał szlam i osady oleiste. W przypadku paliwa z większą zawartością turzyc występował problem z osadzaniem się krzemionkowego depozytu na rusztach. Rozwiązaniem, które położyło kres tym problemom okazała się niewielka modyfikacja palenisk.

Opracowano na podstawie wywiadu telefonicznego z p. Andrzejem Ruszlewiczem z Fundacji Partnerstwo Doliny Środkowej Odry oraz z p. Ryszardem Piątkowskim właścicielem Gospodarstwa Rolnego „Reedimpex”.

5.4. Spalanie w dużej skali – kotłownia we Fromborku

We Fromborku funkcjonuje kotłownia na słomę dostarczająca ciepło dla miasta. Łączna moc zainstalowana to 7,5 MW. Kotłownia jest eksploatowana przez przedsiębiorstwo prywatne Heise–Gostkowski Sp. z o.o., które jednocześnie dostarcza do ciepłowni paliwo. Zapotrzebowanie kotłowni na paliwo sięga 4000 t słomy rocznie. Słoma pochodzi z pól gospodarstw prywatnych, z których jest zbierana przez operatora ciepłowni i zwożona na składowisko. Dodatkowo palio pochodzi z 50 ha upraw miskanta na cele energetyczne. Słoma i miskant jest zbierana w formie prostopadłościennych bel wielkogabarytowych przez operatora kotłowni z okolicznych pól i składowana na składowisku na powietrzu należącym do operatora. Ze składowiska słoma jest sukcesywnie dowożona na teren kotłowni, gdzie znajduje się magazyn zadaszony o zasobności paliwa odpowiadającym okresowi 2 tygodniom. Bele słomy bezpośrednio przed podaniem do kotła są rozdrabniane na szrapkach. Funkcjonuje automatyczny system zadawania rozdrobnionego paliwa do kotła.

Na podstawie kontaktów z firmą Heine-Gostkowski Sp. z o. o. i w odniesieniu do potencjału dostępnej biomasy łąkowej z „obszarów wodniczkowych” w dolinie Biebrzy zaproponować można rozwiązanie o charakterze zbliżonym do kotłowni we Fromborku.

Przy założeniu produktywności łąk na poziomie 2,5 t/ha suchej masy i wykorzystaniu 2500 ha rocznie (spośród dostępnych 3500 ha) otrzymujemy potencjał techniczny na poziomie 6250 ton suchej masy. Zakładamy koszenie, suszenie biomasy na łące oraz jej prasowanie i transport do miejsca składowania. Pozwoli to na zaopatrzenie dużej instalacji grzewczej o mocy na poziomie 5-8 MW lub kilkunastu kotłów o mocy rzędu kilkaset kW każdy.

Przy tak dużym potencjale biomasy zasadnym wydaje się stworzenie kompleksowego systemu pozyskania i zagospodarowania biomasy. Przy instalacji w dużej skali zdecydowanie niewskazane jest udostępnienie zasobów biomasy indywidualnym dostawcom (właścicielom poszczególnych łąk) ze względu na fakt wprowadzenia dezorganizacji i potencjalnych problemów logistycznych. Mając na uwadze późny sezon zbioru, przeważnie z większą średnią ilości opadów niż w czerwcu i lipcu, organizacja zbioru biomasy z łąk i dostarczenia na składowisko musi być koordynowana i przeprowadzona bardzo sprawnie.

5.5. Współspalanie biomasy łąkowej ze słomą

Koszenie biomasy z łąk bagiennych wymaga specjalistycznego sprzętu – kombajnów na podwoziu gąsienicowym, zdolnym do poruszania się po grząskim podłożu. Nie ma możliwości kompletnego wysuszenia biomasy w miejscu koszenia. Materiał skoszony może być pozostawiony na pokosie do wstępnego przeschnięcia na powietrzu. Przyjmuje się, że przy sprzyjających warunkach atmosferycznych skoszona biomasa osiągnie wilgotność ok. 35% (Piątkowski 2008). Wówczas może być zbierana – przy zastosowaniu specjalistycznego sprzętu – zagęszczana (kostki, bele) i przewożona do odbiorcy końcowego. Podsuszanie i zagęszczenie jest bardzo ważne ze względu na efektywność kosztową łańcucha logistycznego.

Na podstawie kontaktów z Krzysztofem Lorenz z Rindi Energi AG uzyskano informacje o potencjalnych możliwościach współspalania biomasy z łąk bagiennych z innego rodzaju paliwem, także w formie biomasy, ale o dużo niższej wilgotności. Potencjalnym rozwiązaniem jest wykorzystanie biomasy łąkowej z obszarów „wodniczkowych” jako sezonowej domieszki do słomy zbożowej w instalacji wyposażonej w kocioł przystosowany do spalania biomasy trawiastej. Ważnym elementem konstrukcyjnym kotła będzie wydłużona komora przed-paleniskowa, w której będzie miało miejsce podsuszenie wilgotnego paliwa przed wejściem do komory spalania (Lorenz 2008). Przed wejściem do kotła biomasa łąkowa musi zostać rozdrobniona oraz wymieszana ze słomą. Proporcje mieszania obu rodzajów biomasy (bardziej i mniej wilgotnej) zależą od wilgotności każdej partii przywiezionej biomasy. Ze względu na podwyższoną wilgotność traw łąkowych, nie mogą one być składowane przez dłuższy okres, lecz muszą być w pierwszej kolejności zużywane po przywiezieniu na teren instalacji.

Proponowane rozwiązanie może mieć uzasadnienie ekonomiczne i przez to zostać zrealizowane w przypadku wykorzystania biomasy do produkcji ciepła i energii elektrycznej w skojarzeniu. Wówczas zielone certyfikaty związane z wytwarzaniem „zielonej energii elektrycznej” będą stanowiły istotne źródło przychodu dla operatora instalacji. Należy jednak podkreślić, że w każdym przypadku konieczne jest przeprowadzenie precyzyjnej analizy całego łańcucha pozyskania i logistiką biomasy, wraz z warunkami jej sprzedaży i przetwarzaniem na energię w konkretnej instalacji. Na podstawie doświadczeń związanych z wykorzystaniem słomy jako paliwa w ciepłownictwie (Frombork), można ustalić, że transport biomasy łąkowej o wilgotności 30-35%, sprasowanej do postaci

prostopadłościennych beli, nie powinien przekraczać 50 km. Powyżej tego dystansu koszty będą zbyt wysokie. W przypadku instalacji wytwarzających energię elektryczną i ciepło korzystających z zielonych certyfikatów, tzw. opłacalny dystans będzie wyższy.

Opracowano na podstawie kontaktów z Ryszardem Piątkowskim z Gospodarstwa Rolnego „Reedimpex” oraz z Krzysztofem Lorenz’em z firmy Rindi Energi AG.

5.6. Kompostowanie w rękawach foliowych

Poprzez nawiązanie kontaktu z firmą AG BAG SP. z o.o. (Kasyna 2008) specjalizującą się w dziedzinie konserwacji pasz w rękawach foliowych stwierdzono, że rękawy nadają się do kompostowania traw z późnego koszenia, lecz konieczna jest domieszka materiału strukturalnego, np. ścinki drzewnej. Rękawy nadają się do kompostowania wszystkich rodzajów biomasy, także zestarzałych traw. Jeżeli chodzi o okres kompostowania to jest on uzależniony od mieszanki materiału kompostowanego i waha się od 8 do 20 tygodni. Konieczne jest napowietrzanie materiału w rękawach foliowych poprzez dmuchawy oraz rury napowietrzające. Trawa musi być rozdrobniona, aby mogła zostać zapakowana do rękawa foliowego. Cena rękawa zależy od jego rodzaju:

- B820k (2,4 x 60 m, pojemność ok. 160 t) – 1 750 zł netto + 22% VAT.
- B920k (2,7 x 60 m, pojemność ok. 200 t) – 1 890 zł netto + 22% VAT.

Kompostowanie w rękawach foliowych w Polsce na dzień dzisiejszy nie jest szerzej stosowane. Natomiast temat ten jest bardzo aktualny w Niemczech i Szwecji. Poniżej opisane są przypadki kompostowania w Szwecji z wykorzystaniem technologii kompostowania odpadów organicznych w rękawach AG BAG.

Od 2001 roku szwedzka firma *COMPONORDIC SYSTEM* przetwarza odpady organiczne w rękawach foliowych, korzystając z pras silosujących do kompostowania firmy AG BAG (AG BAGGER CT 5; AG BAGGER CT 8). Kompostowanie odpadów organicznych prowadzone jest w dwóch miejscowościach (Wagner 2008):

- Rangsells, gdzie na całkowitym obszarze 35 ha kompostuje się rocznie ok. 7 000 t materiału w rękawach foliowych.
- Södertelje, gdzie przedsiębiorstwo gospodarki odpadami komunalnymi przetwarza w rękawach foliowych ok. 16 000 t rocznie.

Odpady organiczne w powyższych miejscach są najpierw segregowane i oddzielane od zwykłych odpadów domowych, a następnie dodawana jest do nich domieszka materiału strukturotwórczego (krajanka drzewna, wilgotność <10%) w celu zwiększenia zawartości suchej masy i porowatości. Procentowy udział materiału strukturotwórczego (ok. 30%) oraz wielkość elementów krajanki drzewnej zależy od właściwości materiału odpadowego.

Materiał poddawany kompostowaniu jest załadowywany do kosza zasypowego prasy silosującej, a następnie wpychany przez specjalny tłok do rękawa foliowego. Duża porowatość materiału w rękawie wpływa pozytywnie na proces kompostowania.

W odróżnieniu od tradycyjnego zastosowania tej metody do zakiszania pasz, w systemie kompostowania do rękawa wprowadza się perforowane rury (o średnicy 90 mm), których zadaniem jest dodatkowe napowietrzenie materiału (przy prasie silosującej typu CT5 jedna rura napowietrzająca na rękaw, przy CT8 dwie rury). Następnie przy pomocy dmuchawy napowietrzającej i umiejscowionych na rękawie wentyli proces kompostowania jest kontrolowany i sterowany pod kątem regulacji temperatury. Czujniki temperatury są umiejscowione na rękawie w kilku miejscach, w każdym na dwóch różnych głębokościach pomiarowych, i dokonują rejestracji temperatury co godzinę.

Wydajność techniczna prasy silosującej zależy od materiału i wynosi 40-60 t/h (CT 5) lub od 80-140 t/h (CT 8). Zależnie od rocznej produkcji kompostu zaleca się mniejsze lub większe maszyny. Rękawy do kompostowania dostępne są w dwóch średnicach – 1,65 m (CT 5) lub 2,40 m (CT 8). Długość rękawów można dowolnie dostosować do każdej ze średnic, przy czym przeciętnie wynosi ona 75 m.

Tabela 15 Parametry podczas kompostowania w rękawach foliowych AG BAG (Wagner 2008)

Wilgotność	Niska (30%)	Wysoka (65%)
C/N	10	40
pH	5,5	8,5
Zawartość O ₂	5%	20%
Wielkość elementów krajanki drzewnej	5 cm	25 cm
Czas kompostowania w rękawie	8 tygodni	20 tygodni
Czas dalszej obróbki po otwarciu rękawa	4 tygodnie	12 miesięcy

Jednorodność mieszanki ma wpływ na przebieg procesów przetwarzania. Rękawy należy układać na asfaltowej nawierzchni o 3° nachyleniu terenu. Systemy napowietrzania instaluje się na końcu rękawa. Wydzielające się odpady płynne są odprowadzane poprzez specjalne kanały. Okres tworzenia się kompostu zależy od wilgotności materiału i wynosi przeciętnie 10-16 tygodni. W początkowym okresie kompostowania należy powoli zwiększać napowietrzenie (maksimum przypada na okres od 3 do 10 tygodnia), a następnie zmniejszać jego intensywność (od około 11 tygodnia).

Koszty technologii kompostowania w rękawach foliowych

Na koszty technologii kompostowania w rękawach foliowych składają się koszty niezbędnej powierzchni, koszty prasy do napelniania rękawów, koszty rękawów foliowych i napowietrzania.

Tabela 16 Koszty technologii kompostowania w rękawach foliowych (Wagner 2008)

Typ maszyny	Jednostka	CT 5		CT 8	
Średnica rękawa	m	1,95		2,40	
Długość rękawa	m	60		75	
Produkcja	t/rok	2.500	5.000	10.000	20.000
Czas trwania cyklu kompostowania	tygodnie	10 tygodni		10 tygodni	
Pojemność rękawa	t/rękaw	100		200	
Ilość rękawów rocznie	n	25	50	50	100
Ilość rękawów na 1 cykl	n	2,5	5	5	10
Powierzchnia					
Wymagana powierzchnia	m ² /t	0,3		0,2	
Koszt nawierzchni (20 €/m ²)	€/t	0,70	0,50	0,30	0,30
Koszty maszyny					
Nakłady inwestycyjne	€	47.000	47.000	75.000	75.000
Okres eksploatacji	lata	6	6	6	6
Amortyzacja	€/t	3,88	1,94	1,50	0,75
Odsetki	€/t	0,58	0,29	0,23	0,11
Koszty eksploatacyjne (ciągnik, olej napędowy, wynagrodzenia, naprawy)	€/t	1,17	1,17	0,91	0,91
System napowietrzania	€/t	0,26	0,26	0,13	0,13
Koszty folii	€/t	3,05	3,05	1,85	1,85
Rury napowietrzające	€/t	1,26	1,26	1,26	1,26
Przetwarzanie	€/t	0,33	0,33	0,33	0,33
SUMA	€/t	10,53	8,30	6,21	5,34

W przypadku kompostowania przez okres 8 tygodni rocznie na danym terenie można przeprowadzić około 6,5 cykli. W tym czasie powierzchnię można ponownie obłożyć rękawami, co oznacza, że do obliczenia niezbędnej powierzchni na składowanie rękawów można przyjąć wartości od 0,2 do 0,4 m²/t.

Koszt utwardzenia nawierzchni w celu ułożenia na niej rękawów wynosi od 0,30 do 0,70 €/t (utwardzenie mieszanki mineralnej po wybraniu 20 cm podłoża i ułożeniu mat z włókniny; ok. 20 €/m², okres eksploatacji 15 lat).

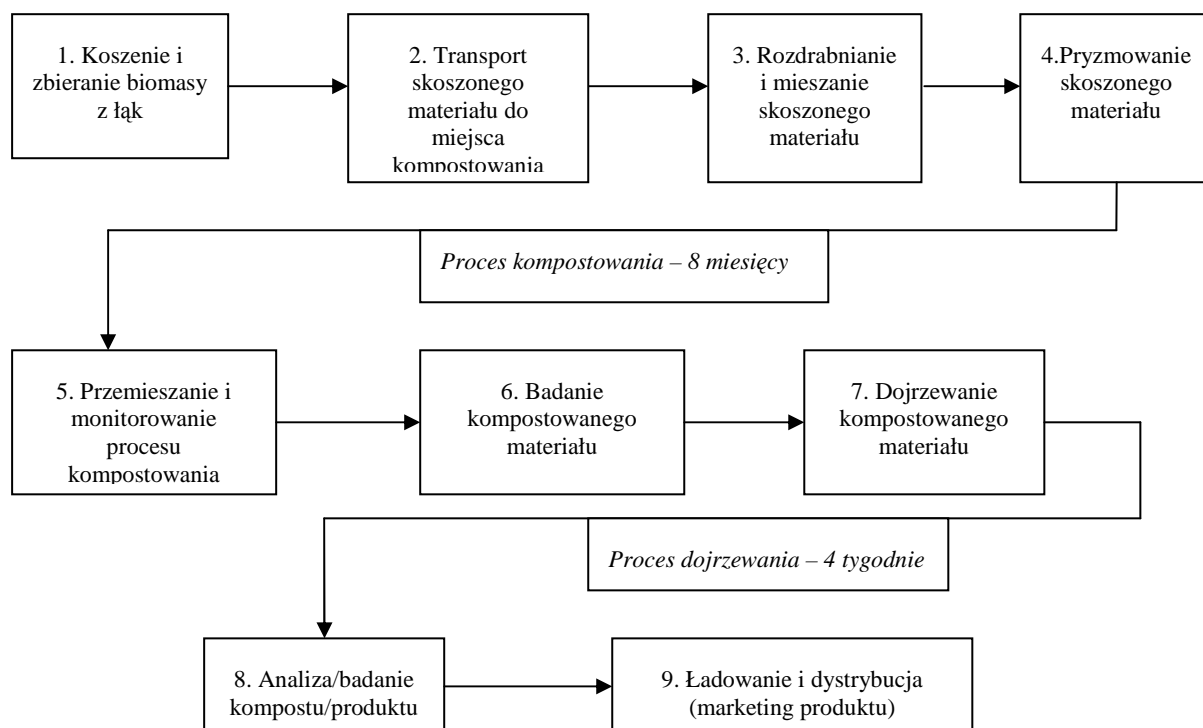
Koszty prasy należy skalkulować, uwzględniając całkowitą produkcję roczną. Przy tonażu powyżej 5000 t/rok zaleca się wykorzystanie maszyny AG BAGGER CT8, która charakteryzuje się większą średnicą rękawa, odpowiednio mniejszym zapotrzebowaniem na powierzchnię magazynowania rękawów i większą wydajnością techniczną (120 t/h). Poza kosztami maszyny do kalkulacji pełnych kosztów kompostowania należy również doliczyć koszty systemu napowietrzania (1 system na 3 rękawy). Koszty folii można obliczyć poprzez odniesienie całkowitego tonażu do pojemności odpowiednich rękawów.

Większy stopień wykorzystania maszyny pozwala na obniżenie kosztów z ok. 8,90 €/t do 4,00 €/t. Należy jednak uwzględnić dodatkowe koszty związane z domieszką materiału strukturotwórczego (ok. 2,70 €/t) i higienizacji (0,55 €/t).

5.7. Kompostowanie w pryzmach w rezerwacie Insh Marshes

System kompostowania biomasy łąkowej w pryzmach jest wykorzystywany przez Królewskie Towarzystwo Ochrony Ptaków (RSPB) na terenie rezerwatu Insh Marshes w Kinguissie w Wielkiej Brytanii.

Kompostowanie w pryzmach o wymiarach 4×4×40 m. Materiał roślinny po koszeniu od razu układany jest w pryzmy. Teren, na którym realizowane jest kompostowanie, musi być na tyle duży by można było przerzucać pryzmy i swobodnie manewrować maszyną, należy zapewnić co najmniej 0,6 m przestrzeni pomiędzy pryzmami i 6 m do zawracania (Mills 2007).



Rysunek 3 Schemat systemu kompostowania traw w przyzmach w rezerwacie Insh Marshes (Mills 2007)

Biomasa może być koszona i prasowana przy wykorzystaniu tradycyjnych maszyn rolniczych, bądź maszyn specjalistycznych. Sposób pozyskania zależy jest od wymogu rozdrobnienia biomasy przed kompostowaniem.

Wielkość obszaru, z którego pozyskuje się biomasę może być jednym z głównych czynników ograniczających, jeżeli jednak materiał jest sprasowany, może być przetransportowany na składowisko. W zależności od sposobu pozyskania biomasy należy dobrać odpowiedni środek transportu do przewozu bel lub luźnego materiału tak, żeby całe przedsięwzięcie było opłacalne z ekonomicznego punktu widzenia.

Tabela 17 Transport biomasy luzem do miejsca kompostowania uwzględniając załadunek (Mills 2007)

Lokalizacja	Powierzchnia/ ha	Metry sześciennie (materiał luźny)	Szacowana odległość transportowa	Szacowany czas/ godziny	Szacowany czas / dni
Invertromie	11,2	67	1 000 m	7,2	0,9
Insh & Coull	11,2	67	6 000 m	43,2	5,4
Gordonhall	17	102	2 500 m	18	2,2
Balavil	5,6	34	8 000 m	29	3,6
RAZEM	45	270	-	97,4	12

Tabela 18 Transport biomasy sprasowanej do miejsca kompostowania uwzględniając załadunek (Mills 2007)

Lokalizacja	Powierzchnia/ ha	1.5 m ³ bele (materiał sprasowany)	Szacowana odległość transportowa	Szacowany czas / godziny	Szacowany czas / dni
Invertromie	11,2	45	1 000 m	6	0,75
Insh & Coull	11,2	45	6 000 m	36	4,5
Gordonhall	17,0	68	2 500 m	22	2,8
Balavil	5,6	22	8 000 m	23	2,9
RAZEM	45,0	180	-	87	10,8

Balowanie jest metodą wydajniejszą, gdyż transport na dłuższe dystanse jest znacznie bardziej opłacalny niż transport luźnego materiału, jednakże potrzebne są odpowiednie przyczepy transportowe. Zbelowany materiał przed kompostowaniem musi być uprzednio rozdrobniony.

Jeśli stosowane są otwarte przyzmy a skoszony materiał jest dostarczany jako rozdrobniony nie ma konieczności stosowania urządzeń do rozdrabniania i mieszania materiału. Konieczne są jednak urządzenia do rozładunku przyczep i układania materiału w przyzmy, jak np. ładowacz czołowy.

W czasie kompostowania napowietrzanie jest przeprowadzane za pomocą ciągnika wyposażonego w specjalny ładowacz za pośrednictwem, którego przyzma jest poruszana. Temperatura wewnątrz przyzmy, która może dochodzić już na początku procesu do 70°C ma duży wpływ na częstotliwość przemieszania kompostowanego materiału.

Po zakończeniu kompostowania w przyzmach materiał musi być rozrzucony w celu dojrzewania kompostu, stąd zaplecze maszynowe powinno być wyposażone w rozrzutnik. Niezbędne jest zapewnienie odpowiedniej powierzchni.

Gotowy kompost powinien zostać poddany badaniom laboratoryjnym. Produkowany rezerwacie Insh Marshes kompost ma być wykorzystywany na polach golfowych. Dane na temat kosztów i przychodów ze sprzedaży przedstawia Tabela 19.

Tabela 19 Koszty pakowania, cena i przychód ze sprzedaży kompostu w rezerwach ptaków w Wielkiej Brytanii (Mills 2007)

Typ opakowania	Koszty opakowania	Koszty pakowania	Cena sprzedaży	Przychód ze sprzedaży
Worki* jednorazowe	£0,18	£0,40	£3,00 lub 4 worki za £10	£2,42
Worki* wielokrotnego użytku	£1,30 - £2,50 w zależności od ilości	0 – pakowanie przez nabywców	£4,50 lub 4 worki za £15 Każde ponowne napełnienie £2	£2 £3,20 (cena hurtowa)

* pojemność worka 40 l

5.8. **Kompostowanie w oczyszczalni ścieków „Swarzewo”**

Spółka Wodno-Ściekowa „Swarzewo” jak większość oczyszczalni borykała się z problemem zagospodarowania osadu nadmiernego, czyli osadu czynnego przyrosłego na skutek rozmnażania się organizmów występujących w osadzie i usuwanego z układu oczyszczania instalacji. Produkując około 800 Mg s.m. osadu/rok, od lat próbowano znaleźć optymalne rozwiązanie utylizacji osadu nadmiernego, odpowiedniego zarówno pod względem ekologicznym jak również ekonomicznym. Z wielu prób zagospodarowania osadu przeprowadzanych na oczyszczalni takich jak:

- spalanie i współspalanie z gałęziami i miałem węglowym,
- higienizacja wapnem palonym po odwodnieniu,
- kompostowanie z różnymi komponentami organicznymi,

wybrano metodę kompostowania odwodnionego osadu z roślinnymi odpadami organicznymi, jako najbardziej przyjazną dla środowiska.

Jako substraty do kompostowania wykorzystano następujące rodzaje odpadów:

- Osad nadmierny z oczyszczalni komunalnej, odwodniony mechanicznie do zawartości wody równej 83%, (gęstość 1 kg/dm³), pochodzący bezpośrednio z komór napowietrzania.
- Słoma w postaci rozdrobnionej z następujących roślin: rzepak, pszenica, pszenżyto, żyto, owies, jęczmień. (gęstość 0,3 kg/dm³, uwodnienie 15- 40%).
- Gałęzie z podcinania drzew, dostarczane w postaci zmielonej na rębarnie, wielkość zrębków od 10 do 30 mm (gęstość 0,4 kg/dm³), lub bezpośrednio przywożone z terenu i wrzucane do pryzm kompostowych i mieszane przerzucarką.
- Odpady organiczne pozyskane z gospodarstw domowych z selektywnej zbiórki na zasadzie indywidualnych umów z mieszkańcami (gęstość od 0,3 do 0,8 kg/dm³).
- Pozostałe odpady organiczne pozyskiwane z terenu powiatu w tym trociny tartaczne, liście, słoma trzciny z rezerwatu ornitologicznego (gęstość 0,3 kg/dm³, uwodnienie 15 – 40%).

Kompostowanie osadu z odpadkami organicznymi prowadzi się na utwardzonym placu na terenie oczyszczalni ścieków, zaprojektowanym specjalnie do kompostowania odpadów stałych, z nawierzchnią bitumiczną o powierzchni 0,8 ha, z odciekami zbieranymi do oczyszczenia na oczyszczalni.

Maszynę do przerzucania pryzm kompostowych typu Backhus zakupiono w październiku 2001 r. dzięki uzyskaniu preferencyjnego kredytu z Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska w Gdańsku. Od grudnia rozpoczęto przerzucanie pierwszych uformowanych pryzm kompostowych.

Mieszanka materiału poddanego kompostowaniu zawiera dość duże ilości słomy i zrębków drzewnych (Tabela 20). Materiały te pełnią funkcje strukturotwórczą w pryzmach gwarantującą odpowiednie napowietrzanie. Im większe uwodnienie osadu tym większy udział słomy w kompostowanym materiale. Słomę w tym przypadku można zastąpić trzcina, ponieważ jest ona komponentem wpływającym w bardzo korzystny sposób na napowietrzanie pryzmy (Cytawa 2008).

Tabela 20 Proporcje pomiędzy komponentami dodawanymi do pryzmy kompostowej

Rodzaj surowca	Zawartość procentowa surowców wyjściowych (% objętościowy)
Osad odwodniony	30
Słoma	38
Gałęzie zmielone	30
Odpady organiczne	2

Oczyszczalnia ścieków „Swarzewo” wykorzystuje słomę zbożową odkupowaną od rolników, jak również zrębki drewniane pozyskane z gałęzi dostarczanych z miasta z podcinania drzew, trociny, odpady z segregacji u źródła w domach mieszkańców Władysławowa. Słoma zbożowa zakupywana jest po w cenie średnio 15 zł za duży balot. Jednak należy zaznaczyć, że cena waha się w granicach 8 – 30 zł/duży balot i zależy od przetargu na dostawy słomy (Cytawa 2008). Oczyszczalnia przyjmuje wszelkiego rodzaju słomę, niezależnie od stopnia zbutwienia, w tym również stare siano i słomę rzepakową.

W wyniku kontaktów z głównym technologiem oczyszczalnia ścieków „Swarzewo” gotowa jest przyjąć znaczne ilości trzciny jako materiału strukturotwórczego do budowania pryzm (Cytawa 2008). Materiał jednak wymaga wcześniejszego suszenia (do poziomu wilgotności zbliżonego do słomy, czyli ok. 20%).

Do oczyszczalni dostarczane były swego czasu trawy i trzciny z ptasiego Rezerwatu Przyrody BEKA (OTOP) leżącego nad Zatoką Pucką (pow. 193 ha, około 20 km od Pucka). Ilość dostarczanego luzem materiału to około 4000 m³ świeżej masy. Materiał ten stanowił odpadową masę roślinną stąd oczyszczalnia otrzymywała go za darmo pokrywając jedynie koszty transportu (Cytawa 2008).

Jeżeli chodzi o sprzedaż kompostu to jest duże zainteresowanie tym materiałem, przede wszystkim do celów ozdobnych (trawniki). Cena kompostu wynosi 15 zł/m³. Ilości kompostu sprzedawana rocznie to około 2000 m³. Wykorzystuje się go jako nawóz. Nabywcami są głównie firmy realizujące projekty terenów zieleni, Zieleń Miejska oraz indywidualni nabywcy.

Kompost dopuszczony do sprzedaży musi być wciągnięty na listę nawozów, która jest corocznie przedstawiana przez Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Poza tym, kompost musi przejść szereg badań jakościowych (np. zawartość metali ciężkich, zarobaczenie, itp.). Badania przeprowadza w Polsce 5 instytutów (m. in. Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) z siedzibą w Puławach, Instytut Warzywnictwa z siedzibą w Skierniewicach.

Gotowy kompost charakteryzuje się uwodnieniem mniejszym niż 50%. Posiada strukturę gruzełkową i nie zawiera skupisk osadu mazistego. Dopuszczalne są drobne resztki słomy i niezmineralizowane części roślin. Kompost powinien posiadać zapach ziemisty (nie nieprzyjemny, niewyczuwalny zapach bakterii kałowych, gnilny, padliny, kwasu masłowego i inny charakterystyczny przy rozkładzie beztlenowym), kolor natomiast brązowy, torfowy (brak skupisk kompostu czarnego). Dobrej jakości kompost nie zawiera drobin tłuszczu, włosów, i innych odpadów organicznych, nasion roślin w tym wielu chwastów obecnych w osadzie nadmiernym.

Opracowano na podstawie kontaktów ze Stanisławem Cytawą głównym technologiem oczyszczalni ścieków w Swarzewie będącej własnością Spółki Wodno-Ściekowej „Swarzewo” oraz na podstawie informacji dostępnych na www.swarzewo.intermedia.net.pl

5.9. Systemy zbioru biomasy słoniastej i trawiastej

Trawy, turzyce i trzciny podobnie jak słoma zbożowa są materiałem objętościowym, tzn. o niskiej gęstości. Systemy zbioru, transportu i przechowywania tego typu biomasy opierają się na zagęszczaniu materiału do postaci bel – okrągłych lub prostopadłościaków. Technologia zbioru i logistyki słomy zbożowej jest bardzo dobrze rozwinięta. W zależności od wielkości gospodarstwa stosuje się prasy do słomy produkujące następujące rodzaje bel (Kowalik 2003, CBT 1998):

- Małe bele prostopadłościowe, tzw. małe kostki – wymiary beli 46×36×80 cm, waga ok. 12 kg, gęstość 90-100 kg/m³,
- Bele okrągłe – szerokość 1,2 m, średnica 1,5 m, przeciętna gęstość 110 kg/m³ (przeciętna waga 244 kg), ten rodzaj bel jest najpowszechniej stosowanym do zbioru i magazynowania słomy na ściółkę i paszę, bądź też spalania w kotłach wsadowych na słomę w gospodarstwach rolnych.
- Średniej wielkości bele prostopadłościowe – wymiary beli 0,8×0,8×2,4 m, waga beli ok. 235 kg, gęstość 140 kg/m³, występują także bele o długości 1,2-2,0 m.
- Duże bele prostopadłościowe, tzw. duże kostki – wymiary beli 1,2×1,3×2,4 m, waga beli ok. 523 kg (450-600 kg), przeciętna gęstość 139 kg/m³, występują także bele o długości 1,2-2,0 m.

Małe kostki mogą być zbierane ręcznie co łączy się z dużymi nakładami pracy niezbędnymi na ich zwieźenie i zmagazynowanie. W przypadku bel cylindrycznych oraz średnich i dużych bel prostopadłościowych niezbędne jest zastosowanie ładowacza czołowego (załadunek na polu i rozładunek na miejscu składowania lub wózka samozaładowczo-sterującego (załadunek na polu, transport oraz pionowe stertowanie bel). Największą wydajnością charakteryzuje się zbiór prasami wielkogabarytowymi formującymi dużą kostkę. Technologia ta jest przydatna tylko dla gospodarstw wielkoobszarowych, dysponujących ładowaczami czołowymi na ciągnikach dużej mocy lub ładowaczami samojezdnymi. Duża kostka jest wykorzystywana przez firmy wykorzystujące biomasę do produkcji energii. Wówczas istnieje możliwość przewiezienia ok. 24 ton transportem samochodowym.

Istnieje także możliwość zbioru rozdrobnionego materiału z zastosowaniem przyczep, system ten jednak jest bardzo nisko wydajny ze względu na niską gęstość nasypową biomasy. Gęstość usypowa rozdrobnionej słomy zbożowej wynosi 45-50 kg/m³ (CBT 1998). Do przewozu rozdrobnionego materiału istnieje możliwość wykorzystania przyczep kontenerowych z ruchomą ścianą powodującą zagęszczanie materiału w przyczepie.

Kalkulacja kosztów zbioru biomasy konwencjonalnymi maszynami rolniczymi

Poniżej przedstawiono kalkulacje kosztów zbioru biomasy z próżnego koszenia traw w trzech wariantach. Przyjęto założenie, że na nienawożonych łąkach można pozyskać około 2,5 tony suchej masy. **Przedstawione warianty odnoszą się do zbioru biomasy łąkowej z zastosowaniem konwencjonalnych maszyn rolniczych, które mogą poruszać się po stosunkowo twardym i równym podłożu.**

Do kalkulacji kosztów wykorzystano ceny bazowe usług rolniczych na rok 2008 proponowane przez Polski Związek Pracodawców-Uslugodawców Rolnych. Są to ceny stosowane przez podmioty zrzeszone w PZPUR oraz sugerowane innym podmiotom świadczącym usługi dla rolnictwa; ceny te mogą podgalać negocjacom (Tabela 21).

Tabela 21 Ceny wybranych usług rolniczych na rok 2008 (PZPUR 2008)

Nazwa usługi	Jednostka	Cena	Uwagi
Orka	ha	160,00	Bez paliwa
Zbiór kombajnem zbożowym	ha	250,00	Bez paliwa
Zbiór kukurydzy kombajnem zbożowym	ha	270,00	Bez paliwa
Zwijanie słomy prasą rolującą	1 balot (od \varnothing 150 cm)	12,00	Z paliwem
Zbiór słomy prasą wielkogabarytową	1 balot (do 300 kg)	18,00	Z paliwem
Prace załadunkowe	mtg*	90,00	Z paliwem
Ciągnik + 1 przyczepa do 16 t	h	130,00	Z paliwem
Koszenie kosiarką	ha	100,00	Z paliwem
Zbiór zielonek sieczkarnią samojezdną	ha	200,00	Bez paliwa
Zbiór sianokiszonki przyczepą samozbierającą	h (do 50 m ³)	220,00	Z paliwem

*mtg - motogodzina

Oszacowanie kosztów zbioru biomasy łąkowej przeprowadzono dla czterech wariantów. Koszty usług rolniczych zostały z Tabeli 19 zostały dostosowane do produktywności łąk bagiennych (2,5 t suchej masy/ha). Koszty transportu drogowego w każdym przypadku odpowiadają ilości biomasy z jednego hektara.

Wariant I – koszenie, suszenie i prasowanie w małe kostki, ręczny załadunek na zestaw transportowy – ciągnik z dwiema przyczepami – a następnie transport (w obie strony) na odległość 10 km (koszty transportu w tabeli odpowiadają ilości z jednego hektara).

Wariant II – koszenie, suszenie, prasowanie do postaci dużych bel okrągłych, załadunek przy użyciu ładowacza czołowego oraz transport ciągnikiem z dwiema przyczepami na odległość 10 km.

Wariant III – zbiór biomasy sieczkarnią samobiezną z jednoczesnym odbiorem rozdrabnianego materiału przez jadący równolegle zestaw transportowy. Następnie transport na odległość ok. 10 km na miejsce docelowe. Taki system zbioru biomasy może być wykorzystany w przypadku kompostowania lub produkcji biogazu.

Wariant IV – koszenie biomasy kosiarką rotacyjną, zbiór świeżej biomasy na przyczepę (trawy o wilgotności 50-60%).

Tabela 22 Kalkulacja kosztów zbioru i transportu traw z późnego koszenia łąk – wariant I: małe kostki

	Zł/ha
Koszenie kosiarką rotacyjną:	100,00
Suszenie + zgrabianie	90,00
Prasowanie – małe kostki	110,00
Załadunek ręczny (2 osoby)	70,00
Transport na łące	65,00
Razem koszty na łące	435,00
Transport 10 km, ciągnik + dwie przyczepy	65,00
Razem	500,00

Tabela 23 Kalkulacja kosztów zbioru i transportu traw z późnego koszenia łąk – wariant II: bele okrągłe

	Zł/ha
Koszenie kosiarką rotacyjną:	100,00
Suszenie + zgrabianie	90,00
Prasowanie – bele okrągłe wysokiego zgniotu	140,00
Transport na łące (ładowacz)	45,00
Załadunek (ładowacz)	45,00
Razem koszty na łące	420,00
Transport 10 km, ciągnik+ dwie przyczepy (24 bele)	65,00
Razem	485,00

Tabela 24 Kalkulacja kosztów zbioru i transportu traw z późnego koszenia łąk – wariant III: zbiór siewkarnią samobiezną i transport świeżej rozdrobnionej biomasy

	Zł/ha
Zbiór siewkarnią samobiezną	220,00
Transport polowy	100,00
Razem koszty na łące	320,00
Transport 10 km, ciągnik + dwie przyczepy	260,00
Razem	580,00

Tabela 25 Kalkulacja kosztów zbioru i transportu traw z późnego koszenia łąk – wariant IV: koszenie kosiarką rotacyjną, zbiór i transport świeżej biomasy luzem

	Zł/ha
Koszenie kosiarką rotacyjną	100,00
Zbiór z pokosu na przyczepę	220,00
Razem koszty na łące	320,00
Transport 10 km, ciągnik + dwie przyczepy	325,00
Razem	645,00

Spośród analizowanych wariantów najtańszą opcją jest wariant II, czyli suszenie i prasowanie w bele okrągłe wysokiego zgniotu. W przypadku małych kostek technologia zbioru jest bardziej pracochłonna; mimo, że koszty prasowania są niższe niż dla bel wysokiego zgniotu, to wyższe koszty występują na etapie ręcznego załadunku kostek na zestaw transportowy przemieszczający się po łące. Warianty III i IV, które dotyczą zbioru świeżej biomasy luzem są najbardziej kosztowne, szczególnie wysoki udział w kosztach całkowitych mają koszty transportu świeżego materiału.

Pojazdy na terenach bagiennych

Obszary łąkowe wodniczki, to łąki bagienne o charakterze turzycowisk o grząskim podłożu. Wjazd na takie tereny jest możliwy tylko pojazdami o niskim nacisku jednostkowym – ocenia się, że dla ocalenia struktury kępowej turzycowisk w dolinie Biebrzy nacisk na podłoże powinien być mniejszy niż 29 g/cm^2 , doświadczenia praktyczne wskazały, że struktura podłoża jest zachowywana przy nacisku $40\text{-}50 \text{ g/cm}^2$ (Grunwald 2008). Dlatego pozyskanie biomasy z łąk bagiennych będzie wymagało maszyn o specjalnej konstrukcji. Pojazdy takie są konstruowane w formie urządzeń prototypowych w zależności od potrzeb.

Przykładem jest innowacyjna działalność prowadzona w Gospodarstwie Rolnym "Reedimpex" należącym do państwa Piątkowskich. Ryszard Piątkowski jest konstruktorem i jednocześnie producentem pojazdów kołowych (opony balonowe) oraz gąsienicowych umożliwiających poruszanie się po terenach bagiennych. Pojazdy te wykorzystywane są przez właściciela gospodarstwa do pozyskiwania trzciny (Piątkowski 2008).

Sprzęt rolniczy może poruszać się po grzęzawisku przy odpowiednio małym nacisku na podłoże. Realizowane jest to przy pomocy zastosowania szerokich kół jezdnych (opona balonowa o szerokości $100\text{-}140 \text{ cm}$ w zależności od przeznaczenia maszyny) lub podwozia gąsienicowego, które zapewnia minimalną powierzchnię styku na poziomie $4,5 \text{ m}^2$. W przypadku obszarów, na których może dojść do zatopienia maszyny w wyniku przerwania kożucha torfowego, wymogiem koniecznym jest stosowanie lekkich nietonących konstrukcji, utrzymujących się na powierzchni razem z ewentualnym ładunkiem jedynie dzięki wyporności własnej (duże opony działają jak pływak). Opony balonowe są dosyć wrażliwe na uszkodzenie, jeżeli na terenach koszonych występują zakrzaczenia, dlatego są zalecane głównie w wypadku koszenia obszarów wolnych od krzewów.

Innym konstruktorem maszyn do pozyskania biomasy na terenach bagiennych, z którym nawiązano kontakt, jest pan Mariusz Grunwald realizujący koszenie łąk bagiennych w dolinie Biebrzy przy użyciu maszyny na podwoziu gąsienicowym (Grunwald 2008). Urządzenie skonstruowane na bazie retraka stosowane jest do koszenia biomasy na grząskich turzycowiskach.

W celu pozyskania biomasy z późnego koszenia na terenach „wodniczkowych” rekomendowane są dwa warianty. Pierwszy z nich to koszenie z jednoczesnym wywiezieniem świeżej biomasy zalecane dla łąk o wyraźnie zaznaczonej strukturze kępowej i na powierzchni, których stagnuje woda. W tym wypadku pojazd wjeżdża tylko jeden raz na łąkę (Grunwald 2008). Drugi z rekomendowanych wariantów to proces dwuetapowy - należy przeprowadzić koszenie i pozostawić ściętą biomasę na pokosie w celu wstępnego suszenia, następnie zebrany jest poduszona biomas – luzem lub formowanie balotów – i przewiezienie na teren suchy celem dalszego transportu (Piątkowski 2008). W sprzyjających warunkach pogodowych (bez opadów) ocenia się, że biomasę może osiągnąć wilgotność rzędu 35% średnio dla całej masy. Przy formowaniu balotów na stopień sprasowania bel wpływa rodzaj oraz wilgotność zbieranego materiału - im materiał bardziej wilgotny, tym mniejszy stopień zgniotu. Należy zaznaczyć, że oba proponowane rozwiązania – zbiór jedno- i dwuetapowy – nie były dotychczas stosowane w praktyce na terenach „wodniczkowych”, przy czym obaj wspomniani konstruktorzy urządzeń wyrazili zainteresowanie podjęciem się konstrukcji odpowiednich urządzeń i ich testami.

Koszt skonstruowania jednej maszyny koszącej biomasę na terenach bagiennych jest bardzo znaczny ze względu na innowacyjność oraz indywidualne podejście do każdej aplikacji. Cena wywoławcza waha się od 200 do 300 tysięcy złotych, w zależności od funkcji urządzenia i koniecznego osprzętu (Grunwald, 2008; Piątkowski 2008).

Transport drogowy sprasowanej biomasy, w szczególności przy odległościach rzędu kilkudziesięciu kilometrów, powinien być realizowany samochodami o dużej pojemności i ładowności. W przypadku transportu słomy sprasowanej w bele wykorzystuje się ciągniki TIR z naczepami, które są w stanie pomieścić 24 bele wielkogabarytowe (1,2×1,3×2,4 m), co odpowiada ładunkowi o masie ok. 12 ton. Warunkiem koniecznym do zastosowania takich pojazdów jest dowiezienie biomasy do drogi wywozowej, po której może poruszać się samochód ciężarowy. W przeciwnym wypadku konieczne będzie zastosowanie ciągników rolniczych z przyczepą o dużo mniejszej ładowności. Taki transport jest uzasadniony ekonomicznie w wypadku dystansu maksymalnie 10-15 km.

6. Podsumowanie i rekomendacje

Obszary, na których gniazduje wodniczka to głównie turzycowiska. Są to tereny grząskie, dlatego pozyskanie biomasy wymaga wykorzystania maszyn o niskim nacisku jednostkowym na podłoże. Należą do nich pojazdy o podwoziu gąsienicowym, a także pojazdy na kołach balonowych o dużej szerokości opony (1,0-1,4 m). Jednocześnie należy unikać wielokrotnego wjazdu na ten sam teren w celu ochrony podłoża torfowego i zachowania kępowej struktury turzycowisk.

Szacuje się, że obszary „wodniczkowe” dają średni plon suchej masy na poziomie 2,5 t/ha, przy czym turzycowiska o bardzo wyraźnie zaznaczonej strukturze kępowej charakteryzują się niższym pozyskiwanym plonem na poziomie 1,0-1,5 t/ha w przeliczeniu na suchą masę. Koszenie odbywa się powyżej wysokości kępy, natomiast masa roślinna w obniżeniach nie jest zbierana. Świeża biomasa z próżnego koszenia ma wilgotność w granicach 50-75%.

Pozyskiwanie biomasy może być realizowane jedno- lub dwuetapowo. W pierwszym przypadku roślinność jest koszona i od razu zbierana w czasie jednego przejazdu przez łąkę. W drugim przypadku biomasa jest koszona i pozostawiona na pokosie do wstępnego wyschnięcia, a następnie jest zbierana i wywożona z łąk. Jeżeli woda nie stagnuje na powierzchni łąki, biomasa może osiągnąć w sprzyjających warunkach atmosferycznych wilgotność na poziomie 35%. W tym wypadku występuje jednak bardzo duża zależność od warunków pogodowych.

Rozwiązanie z pozostawieniem skoszonej biomasy do wstępnego podsuszenia jest bardziej racjonalne. Unikamy wówczas zbierania i transportu biomasy o bardzo dużej wilgotności. Wstępne podsuszenie biomasy na pokosie daje możliwość jej sprasowania do postaci kostek lub okrągłych balotów co bardzo znacznie obniży koszty załadunku i transportu.

Należy jednak podkreślić, że obecnie użytkowane w Polsce maszyny do koszenia łąk bagiennych to pojedyncze prototypowe konstrukcje. Twórcy i użytkownicy tych maszyn deklarują możliwość opracowania projektu i konstrukcji urządzeń dostosowanych do koszenia, zbierania, pakowania i wywożenia biomasy z obszarów bagiennych, przy czym cena szacunkowa jest na poziomie 200-300 tys. zł za prototypową konstrukcję. Racjonalnym rozwiązaniem wydaje się wydzierżawienie terenów w celu koszenia i zbioru biomasy osobom, które zajmują się użytkowaniem takich maszyn.

Potencjał biomasy z „obszarów wodniczkowych” o powierzchni 3,5 tys. ha przeznaczonych do koszenia w dolinie Biebrzy wynosi 8750 t/rok przy średnim plonie suchej masy 2,5 t/ha. Daje to możliwość stworzenia systemu zagospodarowania biomasy w dużej skali. W przypadku Pomorza Zachodniego poszczególne obszary „wodniczkowe” są oddalone od siebie oraz o mniejszej powierzchni. Ze względu na bardzo wysokie koszty specjalistycznych maszyn wskazane jest stworzenie jednego systemu pozyskiwania biomasy z tych terenów zarządzanego i obsługiwanego przez ten sam podmiot. Natomiast dalsze zagospodarowanie pozyskanej w ten sposób biomasy może odbywać się w kilku różnych lokalnych aplikacjach.

Na dzień dzisiejszy koszenie zimowe nie pozwala na uzyskanie dopłat w programach rolno-środowiskowych. Koszenie zimowe daje możliwość wykorzystania łąk dostępnych maszyn rolniczych, czyli ciągnika z kosiarką, dla może mieć miejsce tylko w wypadku zimy mroźnej i bezśnieżnej; wymagana jest temp. powietrza poniżej -10° C utrzymująca się przez kilka dni, by podłoże torfowe a w szczególności kępy turzycowe przemarzły i by mogły

wjechać pojazdy kołowe. Użycie pojazdów na podwoziu gąsienicowym lub na kołach balonowych daje możliwość koszenia na podłożu niestabilnym, czyli także w wypadku dni bez mrozu. Koszenie zimowe daje możliwość pozyskania biomasy o wilgotności poniżej 35%. Plon biomasy jest jednak niższy w wyniku wylegania części traw oraz wyższej wysokości koszenia.

W niniejszym raporcie przeanalizowano możliwości zagospodarowania pozyskiwanej biomasy, by stworzyć racjonalny system utrzymania terenów łęgowych wodniczki. Poniżej wskazano na najważniejsze aspekty w każdym z trzech sposobów.

Zagospodarowanie w procesach spalania

Energetyczne wykorzystanie biomasy łąkowej z późnego koszenia nie jest rozwiązaniem szeroko rozpowszechnionym ze względu na trudności z wysuszeniem biomasy na powietrzu w miesiącach sierpień – wrzesień. Niska wilgotność biomasy, praktycznie poniżej 15%, jest warunkiem poprawnej eksploatacji urządzeń grzewczych. Paliwo o wyższej wilgotności wymaga kotłów o specjalnej konstrukcji, w których proces spalania poprzedzany jest suszeniem materiału przed wejściem do paleniska – suszenie w tzw. komorze przedpaleniskowej.

Biomasa łąkowa po wstępnym podsuszeniu na pokosie ma zbyt dużą wilgotność by stanowić samoistne paliwo, ale może zostać wykorzystana w dużych instalacjach energetycznych jako domieszka do słomy, która stanowić będzie paliwo podstawowe. Ze względu na wilgotność takiego paliwa (ok. 30-35%) biomasa łąkowa powinna zostać zużyta bezpośrednio po zbiorze, nie może być składowana przez dłuższy okres.

Istnieje możliwość wykorzystania biomasy łąkowej do produkcji paliw zagęszczonych w postaci peletów lub brykietów. Linie brykietujące trawy i trzciny funkcjonują w kraju. Przed procesem peletowania bądź brykietowania konieczne jest wysuszenie biomasy do wilgotności co najmniej poniżej 18%.

Suszenie biomasy może mieć miejsce na powietrzu lub w pomieszczeniu zamkniętym z zastosowaniem suszenia wymuszonego – przewietrzanie strumieniem powietrza o temperaturze otoczenia bądź powietrzem podgrzanym. Jest to proces energochłonny i kosztowny.

Specyficzne właściwości fizykochemiczne traw łąkowych, turzyc i trzciny (podwyższona zawartość potasu, chloru oraz krzemionki w stosunku do biomasy drzewnej) obecnie nie stanowią poważnego ograniczenia dla technologii spalania ze względu na dostępność na rynku krajowym kotłów dedykowanych temu rodzajowi paliwa. Wybór kotła dostosowanego do paliwa jest elementem kluczowym dla uzyskania wysokiej efektywności energetycznej procesu spalania i uniknięcia problemów eksploatacyjnych. Wykorzystywanie suchego paliwa w kotłach z kontrolowaną temperaturą spalania zapewnia bezproblemowy przebieg procesu spalania. Spalanie biomasy łąkowej w kotłach nie przystosowanych do tego rodzaju paliwa powoduje problemy z zapiekaniem się popiołów na ruszcie i blokowaniem dostępu powietrza, korozją elementów kotła, powstaniem smolistych nalotów, itp.

Zagospodarowanie w procesach fermentacji metanowej

Biomasa z późnego koszenia jest materiałem niskiej przydatności dla procesów fermentacji. Wysoka zawartość ligniny, celulozy i innych substancji, z których zbudowane są łodygi i liście podeschniętych traw, turzyc i trzciny, stanowi ograniczenie wpływające na bardzo niską wydajność procesu fermentacji.

Trawa i turzycy mogą być dodatkiem do podstawowych substratów do produkcji biogazu, natomiast z powodu podwyższonej zawartości substancji suchej nie nadają się do użytku jako monosubstrat.

Zagospodarowanie w procesach kompostowania

Biomasa z późnego koszenia jest materiałem odpowiednim do kompostowania, chociaż proces ten jest bardziej długotrwały i energochłonny (przerzucanie materiału, napowietrzanie) niż w przypadku biomasy koszonej wczesnym latem. Materiał charakteryzuje się podwyższoną zawartością suchej masy. Wymagane jest zawsze rozdrabnianie.

Suche trawy i trzciny stanowiąc mogą właściwy materiał strukturotwórczy wykorzystywany do formowania pryzm w przypadku kompostowania osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków.

Kompostowanie w rękawach foliowych jest rozwiązaniem sprawdzonym, które pozwala na bardzo znaczące skrócenie okresu kompostowania i uniknięcie nieprzyjemnych zapachów. Jest jednak dużo bardziej kosztowne niż kompostowanie w pryzmach, dlatego w przypadku obszarów „wodniczkowych”, gdzie nie występuje prawdopodobnie znaczący popytu na kompost w regionie, kompostowanie w pryzmach jest rozwiązaniem bardziej racjonalnym.

Rekomendacje końcowe

Należy dążyć do stworzenia takiego systemu zagospodarowania biomasy, który łączyć będzie ochronę terenów „wodniczkowych” z lokalną gospodarką komunalną, np. poprzez dostarczanie biomasy jako paliwa do lokalnych ciepłowni. Powstają wówczas najbardziej trwałe i korzystne dwustronnie powiązania pomiędzy podmiotem zarządzającym terenami chronionymi a lokalną społecznością.

Pozyskanie i wstępne przetwarzanie biomasy z terenów bagiennych będzie kosztowne (innowacyjność rozwiązań technicznych, transport biomasy o podwyższonej wilgotności, nakłady na suszenie), dlatego otrzymanie dopłat rolno-środowiskowych będzie krytycznym warunkiem dla stworzenia systemu zagospodarowania biomasy generującego zysk lub co najmniej pozwalającego zrównać całkowite przychody z kosztami przedsięwzięcia.

Spośród przeanalizowanych sposobów zagospodarowania biomasy wykorzystanie na cele energetyczne w procesach spalania należy uznać za rozwiązanie najbardziej racjonalne i perspektywiczne. Można brać pod uwagę przetwarzanie biomasy łąkowej na pelety i brykiety i sprzedaż głównie klientom indywidualnym lub prasowanie biomasy po wstępnym suszeniu na łące i dostarczanie do dużych odbiorców, typu ciepłowni bądź elektrociepłowni.

Ze względu na obowiązek prawny nałożony na sektor energetyczny dotyczący wytwarzania zielonej energii elektrycznej (energia z zasobów odnawialnych) jest niemal pewne, że nie będzie problemów ze zbytem biomasy na cele energetyczne. Prognozuje się, że cena rynkowa biomasy będzie powoli rosła za względu na coraz większe zapotrzebowanie na ten rodzaj paliwa. Dodatkowo, ze względu na konieczność ograniczania udziału biomasy leśnej do celów energetycznych w Polsce, biomasa rolnicza, a także łąkowa będzie miała coraz większe znaczenie. Ważne jest jednak przygotowanie i dostarczenie do zakładu energetycznego paliwa o odpowiedniej jakości (głównie chodzi tu o wilgotność i skład chemiczny). Cena paliw jest ściśle zależała od jego jakości.

Duże zakłady energetyczne są zainteresowane zawieraniem kontraktów wieloletnich na dostawę biomasy, np. 10 lat. Cena odnosi się do jednostek energetycznych (zł/GJ), a rozliczenia prowadzone są w oparciu o wartość energetyczną paliwa, dlatego w interesie producenta i dostawcy biomasy jest dostarczenie materiału o jak najwyższej warności opałowej, czyli o jak najniższej wilgotności. Potencjalnym odbiorcom biomasy pozyskiwanej w dolinie Biebrzy może być Elektrociepłownia w Białymstoku, która obecnie realizuje inwestycje przystosowania kotła do spalania biomasy.

Obecnie nie ma możliwości zagospodarowanie biomasy do procesów fermentacji metanowej i produkcji energii elektrycznej – brak rozproszonych biogazowni rolniczych. Jeśli w kraju zostanie wkrótce wdrożony program promocji i wsparcia dla rozwoju biogazowni rolniczych, i powstaną takie instalacje w okolicach obszarów „wodniczkowych” (w odległości do 30 km), biomasa ta będzie mogła stanowić dodatek do substratu poddawanego fermentacji. Takie rozwiązanie wydaje się być perspektywiczne w dolinie Biebrzy – jest region o bardzo wysokim pogłowiu bydła mlecznego, należy, więc oczekiwać tam rozwoju biogazowni opartych na odchodach zwierzęcych. Biomasa z terenów „wodniczkowych” stanowiłaby wówczas substrat uzupełniający.

Kompostowanie jest rozwiązaniem o najniższych kosztach inwestycyjnych, zwłaszcza w przypadku kompostowania w przyzmacach. Sucha biomasa łąkowa może stanowić także materiał strukturotwórczy w przypadku zagospodarowania osadów ściekowych w procesach kompostowania w oczyszczalniach ścieków komunalnych. Warto rozpatrzyć także możliwości zagospodarowania biomasy z łąk w lokalnych kompostowniach przetwarzających odpady komunalne.

Bibliografia:

Barz M., Wichtmann W., Ahlhaus M., 2006: Energetic Utilisation of Common Reed for Combined Heat and Power Generation, Proceedings of the 2nd International Baltic Bioenergy Conference, Stralsund, 02.- 04. Nov. 2006.

Barz M., Wichtmann W., Ahlhaus M., Timmermann T., 2007: Utilization of common reed as an energy source. Proceedings of the 3rd International Baltic Bioenergy Conference, Stralsund, 2007.

Bellebaum J. 2004: Feasibility of the use of biomass yield through management of aquatic warbler breeding sites in Pomerania in caloric or biogas power plants, Neu Broderstorf 2004.

Bilitewski B., Hardtle G., Marek K., 1994. Abfall – Wirtschaft. Spring – Verlag, Berlin

Biogas Upgrading and Utilization, IEA Bioenergy, Task 24 – Energy from Biological Conversion of Organic Waste, 1999.

CBT 1998: Straw for energy production. Technology – environment – economy. The Centre for Biomass Technology. Danish Energy Agency.

Cytawa S. 2008. Rozmowa telefoniczna ze p. Stanisławem Cytawą głównym technologiemi z Oczyszczalni Ścieków “Swarzewo”. Sierpień 2008.

Darroch-Thompson M., Ash N. 2003: Biofuel Heating at The Farmhouse Old Moor Visitor Centre. A feasibility study. Hunston Engineering Limited.

Dz. U. 2004, Nr 236 poz. 2369: Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 października 2004 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu.

Dz. U. 2005, Nr 261, poz. 2187: Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 19 grudnia 2005 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii.

Dz. U. 2006, Nr 89, poz. 625: Ustawa Prawo energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997 r.

Dz. U. 2006, Nr 169, poz. 1199: Ustawa o biokomponentach i biopaliwach ciekłych.

ECBREC 2003: Odnawialne źródła energii jako element rozwoju lokalnego. Przewodnik dla samorządów terytorialnych i inwestorów. Praca zbiorowa pod reakcją Grzegorza Wiśniewskiego. Warszawa 2003.

Gogoł M. 2008: Informacje uzyskane od p. Michała Gogoła producenta brykietu z biomasy. Lipiec 2008.

Gostkowski M. 2008. Rozmowa telefoniczna z p. Markiem Gostkowskim z Eurobiomass Biuro Techniczne. Czerwiec 2008.

Gościński J. 2007. Czym jest kompost? Strasshof, 29.03.2007 r.

Grunwald M. 2008: Rozmowa telefoniczna z Mariuszem Grunwaldem. Czerwiec 2008.

Grzybek A. Gradziuk P., Kowalczyk K. 2001: Słoma energetyczne paliwo. Wieś Jutra Sp. z o. o. Warszawa 2001.

GUS 2007: Energia ze źródeł odnawialnych w 2006 roku. Warszawa.

- Hunder M. 2007a: Pelety – właściwości i wykorzystanie. Aeromechanika nr 4/2007.
- Hunder M. 2007b: Analiza procesu suszenia i przechowywania zrębków drzewnych w aspekcie energetycznym, kosztowym i mikrobiologicznym. Rozprawa doktorska. IBMER. Warszawa 2007.
- Huston Engineering 2006: The effectiveness of reeds as a conventional flue. A project to pelletize reeds. Huston Engineering Ltd. for the Royal Society for the Protection of Birds. UK.
- Jędrzak A., Haziak K. 2005. Określenie wymagań dla kompostowania i innych metod biologicznego przetwarzania odpadów. Zielona Góra, maj 2005 r.
- Kashyna M. 2008. AG BAG Polska Sp. z o.o. <http://www.ag-bag.pl/>. Kontakt telefoniczny, czerwiec 2008.
- Komisja Europejska 2008: Projekt dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady na temat promocji wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych. Bruksela, 23 stycznia 2008 r.
- Kowalik I. 2003: Koszty zbioru słomy. Top Agrar Polska 7-8/2003.
- Latocha L. 2008: Rozmowa z p. Ludwikiem Latochą – doświadczonym wykładowcą i praktykiem w zakresie budowy inwestycji biogazowych służących do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Czerwiec 2008.
- Lorenz K. 2008: Rozmowa telefoniczna z p. Krzysztofem Lorenzem z Rindi Energi AB. Lipiec 2008.
- Mills S. 2007. Composting as a technique for managing arisings on RSPB reserves. Sabbatical report. October 2007.
- Ministerstwo Gospodarki 2007: Wieloletni program promocji biopaliw lub innych paliwa odnawialnych na lata 2008-2014. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 24 lipca 2007 r.
- M. P. 2005, Nr 42 poz. 562: Polityka Energetyczna Państwa do roku 2025.
- Oniszk-Popławska A., Zowsik M., Produkcja i wykorzystanie biogazu rolniczego, Warszawa 2003.
- OTOP 2008: Informacje na temat projektu „Ochrona wodniczki w Polsce i w Niemczech”. Ogólnopolskie Towarzystwo Ochrony Ptaków. Czerwiec 2008.
- Piątek R. 2005. Produkcja i energetyczne wykorzystanie biogazu – przykłady nowoczesnych technologii.
- Piątkowski R. 2008: Rozmowa telefoniczna z p. Ryszardem Piątkowskim właścicielem Gospodarstwa Rolnego „Reedimpex” w Piaskach Wielkich na Wolinie prowadzącym działalność w zakresie pozyskania trzciny. Lipiec 2008.
- PZUPR 2008: Ceny usług. Polski Związek Pracodawców-Uslugodawców Rolnych. http://www.uslugirolne.pl/_ceny.htm
- Saijonkari-Pahkala K.2001: Non-wood plants as raw material for pulp and paper. Agricultural and food science in Finland, vol. 10, Supplement No.1, 2001.
- Siuta J. 2000 Szacunek zasobów i jakość kompostu z odpadów zieleni warszawskiej. Instytut Ochrony Środowiska.

Steppa M. 1988. *Biogazownie rolnicze* IBMER. Warszawa.

Romaniuk W. 2001. Techniczne aspekty pozyskania i energetycznego wykorzystania biogazu w warunkach polskich. Materiały z seminarium „Możliwości energetycznego wykorzystania biogazu rolniczego w Polsce”. POLAGRA. Poznań.

Tome-Kozmiensky, 1992. Abfallverminderung – Duale Abfallwirtschaft und Kompostierung von Bioabfällen. EF – Verlag, Berlin.

Wagner A. 2008. Kompostowanie w rękawach foliowych – technologia AG BAG w Szwecji. Magazyn informacyjny technologii AG BAG, nr. 8, s. 28-29.

Wasiak G., Mamełka D., Jaroszyńska J., 1999 Kompostowanie odpadów roślinnych terenów zieleni miejskiej Warszawy. Mat. I Konf. Nauk.-Techn. „Kompostowanie i użytkowanie kompostu”, Wyd. Ekoinżynieria, s. 61-69.

Aneks 1: Instalacje

Lista instalacji związanych z energetycznym wykorzystaniem biomasy w gminach, na których terenie mieszczą się obszary „wodniczkowe” – na podstawie odpowiedzi uzyskanych z urzędów gmin wg listy kontaktów zamieszczonej w Aneksie 2.

Gmina Rajgród

- oczyszczalnia miejska w Rajgrodzie eksploatowana przez Zakład gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej w Rajgrodzie ul. Warszawska 2a, 19-206 Rajgród.
- oczyszczalnia ścieków w ośrodku wypoczynkowym „Knieja”, ul. Leśna, 19-206 Rajgród.
- oczyszczalnia ścieków „Tama” eksploatowana przez Nadleśnictwo Rajgród w Tamie, 19-206 Rajgród.

Gmina Grajewo

brak rozważanych instalacji

Gmina Lipsk

- kotłownia na biomasę opalana drewnem (660 kW) zlokalizowana w budynku Zespołu Szkół Samorządowych w Lipsku, ul. Szkolna 1. Kontakt – Dyrektor Zespołu Lech Łapicki, tel. (0 85) 642 30 59 lub kierownik gospodarczy – Jan Szczepaniak, tel. (0 85) 642 27 06.
- oczyszczalnia ścieków ul. Rybacka, 16-315 Lipsk, jednostka obsługująca Zakład Gospodarki Komunalnej w Lipsku, ul. Stolarska 3. Kierownik – p. Teresa Grabowska, tel. (0 85) 642 26 88.

Gmina Radziłów

- oczyszczalnia ścieków w Radziłowie – przepustowość rzeczywista/przepustowość maksymalna [m^3/d] = 57/200. Dane kontaktowe: p. Józef Grzonkowski - Kierownik Zakładu Budżetowego, tel. (0 86) 273 71 18.

Gmina Warnice

- dwie oczyszczalnie ścieków na terenie gminy w miejscowościach Barnim oraz Wójcin. Zarządca: firma „Wodociągi Zachodniopomorskie” Sp. z o.o. Ul. Brygady Legionów 8-10, 72-100 Goleniów, tel. (091) 418 44 31

Gmina Kamień Pomorski

- Dwa kotły opalane olejem opałowym o mocy 90 kW. Ul Stary Rynek 1, 72-40 Kamień Pomorski

Aneks 2: Lista kontaktów

W czerwcu 2008 roku wysłano faksem pisma z zapytaniem o zlokalizowane na terenie gmin:

- kotłownie na biomasę,
- oczyszczalnie ścieków,
- biogazownie,
- zakłady energetyczne.

Pisma zostały wysłane do następujących urzędów gmin:

Urząd Miejski
ul. Żłobikowskiego 4/2, 16-315 Lipsk

Telefon: (48) 0876422700, Faks: (48) 0876422705

Urząd Gminy
ul. Augustowska 53, 16-310 Sztabin

Telefon: (48) 0876439750, Faks: (48) 0876439751

Urząd Gminy
ul. Augustowska 47
16-320 Bargłów Kościelny

Telefon: (48) 0876424091, 0876424011, Faks: (48) 0876424562

Urząd Gminy
pl. Rynkowy 21, 16-205 Nowy Dwór

Telefon: (48) 0857226032, Faks: (48) 0857226032

Urząd Miejski
ul. Solidarności 1, 16-200 Dąbrowa Białostocka

Telefon: (48) 0857121100, Faks: (48) 0857121017

Urząd Miejski
pl. Kościuszki 5, 16-150 Suchowola

Telefon: (48) 0857229400, Faks: (48) 0857229419

Urząd Gminy
Jaświły 7, 19-124 Jaświły

Telefon: (48) 0857168001, 0857168005, 0857168010, Faks: (48) 0857168013

Urząd Miejski
pl. 11 Listopada 38, 19-110 Goniądz

Telefon: (48) 0862720043, Faks: (48) 0862720307

Urząd Miejski
ul. Słowackiego 5 A, 19-100 Mońki

Telefon: (48) 0857162587, Faks: (48) 0857162587

Urząd Gminy
ul. Wojska Polskiego 10, 19-104 Trzcianne

Telefon: (48) 0862195056, Faks: (48) 0862195056 w. 12

Urząd Miejski
ul. Złota 2, 16-080 Tykocin

Telefon: (48) 0857181627, 0857187507, Faks: (48) 0857181627

Urząd Miejski
ul. Warszawska 32, 19-206 Rajgród

Telefon: (48) 0862721624, Faks: (48) 0862721639

Urząd Gminy
ul. Komunalna 6, 19-200 Grajewo

Telefon: (48) 0862723000, Faks: (48) 0862723000

Urząd Gminy
pl. 500-lecia 14, 19-213 Radziłów

Telefon: (48) 0862736001, Faks: (48) 0862736001

Urząd Miasta i Gminy
ul. Żwirki i Wigury 3, 18-420 Jedwabne

Telefon: (48) (86)2172040, Faks: (48) (86)2172040

Urząd Gminy
pl. Raginisa 35, 18-430 Wizna

Telefon: (48) 0862196018, Faks: (48) 0862196056

Urząd Miasta
ul. Wojska Polskiego 1/5, 72-600 Świnoujście

Telefon: (48) 0913212780, Faks: (48) 0913215995

Urząd Miasta
Stary Rynek 1, 72-400 Kamień Pomorski

Telefon: (48) 0913821142, Faks: (48) 0913825028

Urząd Miejski
pl. Ratuszowy 1, 74-200 Pyrzyce

Telefon: (48) 0915701020, Faks: (48) 0915700154

Urząd Gminy
Warnice 66, 74-201 Warnice

Telefon: (48) 0915612890, Faks: (48) 0915783284

Urząd Miasta i Gminy
ul. 1 Maja 16, 74-100 Gryfino

Telefon: (48) 0914162011, 0914162210, Faks: (48) 0914162702

Inne kontakty, które wykorzystano przy opracowaniu niniejszego studium:

Dr inż. Jerzy Barszczewski, Zakład Łąk i Pastwisk, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach. tel. (0-22) 720-05-31 do 6, e-mail: j.barszczewski@imuz.edu.pl

Dr Danuta Chołuj, Wydział Rolnictwa i Biologii, SGGW, Warszawa.

tel. 022 59 32 535, email: danuta_choluj@sggw.pl

Marek Gostkowski, Eurobiomass Polska Sp. z o.o., Biuro Techniczne:

ul. Legionów 2, 82-300 Elbląg, tel. 0 48 55 234 64 64, fax. 0 48 55 234 95 57

Dyrekcja Zespół Szkoła Podstawowa i Przedszkole, Nowa 2, 56-160 Wińsko, tel. 0713898029

Andrzej Ruszlewicz, Fundacja Partnerstwo Doliny Środkowej Odry, ul. Wrocławska 41, 59-220 Legnica, tel. (076) 723 81 21

Sabina Lubaczewska, Polskie Towarzystwo Przyjaciół Przyrody "pro Natura", ul. Podwale 75; 50-449 Wrocław, tel./fax (071) 343 09 58

Krzysztof Panczyk, METALERG Sp. z o. o., Ścinawa Polska 9, 55-200 Oława, tel. 696 492 508

Krzysztof Kuta, Kompostownia „Radiowo”, ul. Kampinoska 1, Warszawa, tel. (0 22) 834 94 18

Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania, ul. Obozowa 43, 01-161 Warszawa, tel. (0 22) 632 00 51

Marta Kashyna, AG BAG Polska Sp. z o.o., Jasin, ul. Wrzesińska 181, 62-020 Swarzędz, tel. (0 61) 651 01 03

"Reedimpex" Gospodarstwo Rolne Irena i Ryszard Piątkowscy, Piaski Wilk. 8, tel. (0 91) 326 33 51

Mariusz Grunwald, tel. kom.: 514 240 363, e-mail: grun-pal@wp.pl

Adam Siczek, Luxor – maszyny do kompostowania. ul. Choiny 57/211, 20-816 Lublin, tel: 081 742 97 11, fax: 081 742 97 13, e-mail: luxorlublin@wp.pl

Aneks 3: Koszty zakupu maszyn do kompostowania

LUXOR – MASZINY DO ODPADÓW

Choiny 57/ 211, 20-816 Lublin

tel: 048 81/742 97 11; fax: 048 81/742 97 13; www.luxor.net.pl; e-mail: luxorlublin@wp.pl

Osoba, od której uzyskano informacje: **Adam Siczek**

1. Przerzucarka do kompostu z WOM*

- moc ciągnika – 86 KM
- brama – 3 000** (1 300 – 1 500)
- cena netto – 37 500 PLN



2. Przerzucarka do kompostu z WOM – Morawetz

- **moc ciągnika-** 70-90 KM
- **brama -** 3000** (1 700)
- **cena netto-** 20 500 EURO (maszyna produkowana w Austrii)



3. Przerzucarka pryzm kompostu PKK 1530 (samojezdna)

- Wymiary bramy: **szerokość 3000-3500 mm, wysokość 1500 mm**
- Bęben roboczy: długość 2,8 m, średnica 600 – 800 mm, wyposażony w układ regulacji wysokości
- Maszyna posiada specjalnie ukształtowane zbieracze pługowe spychające materiał przed zespołu podwozia w obszar przelotowy. Konstrukcja zbieraczy umożliwia dopasowanie do nierówności.
- Wydajność przerzucania: **powyżej 30 m³/h**
- Układ jezdny: kołowy, umożliwiający jazdę nad pryzmą, zawieszenie umożliwiające dopasowanie do nierówności.
- Napęd: silnik spalinowy wysokoprężny CUMMINS chłodzony cieczą, napędzający układ jezdny oraz mechanizm przerzucania i formowania pryzmy kompostowej.
- Silnik: diesel, moc 100 KM przy 2800 /min-1 spełniający normy spalania obowiązujące w roku 2007.
- Przeniesienie napędu: hydrauliczne (układ zamknięty), przekładnia umożliwiająca płynną zmianę szybkości jazdy oraz jazdę z wyłączonym mechanizmem roboczym, układ hydrauliki z filtracją oleju.
- Sterowanie urządzeniem: z kabiny operatora.
- Prędkość jazdy: regulowana w zakresie 0 – 2,5 km/h.
- Kabina wyposażona w:
 - przeszklenia z 4 stron, pozwalające obserwować proces pracy urządzenia i otoczenie.
 - Ogrzewanie oraz układ wentylacji wytwarzający nadciśnienie
 - Klimatyzacje
 - Ergonomiczne siedzenia dla operatora
 - Szyby wyposażone w nawiewy, z wycieraczką i spryskiwaczem każda. Jedna szyba otwierana.
 - Radio wraz z układem głośników
 - Dodatkowe urządzenia oczyszczające powietrze z pyłów
- Maszyna wyposażona w:
 - oświetlenie pola pracy z przodu i z boku oraz drogi przed urządzeniem,
 - oświetlenie ostrzegawcze migające w kolorze żółtym umieszczone na najwyższym elemencie urządzenia
 - sygnał ostrzegawczy dźwiękowy ruchu
- Maszyna wyposażona w podstawowe narzędzia niezbędne do prac przeglądowych oraz prostych napraw
- cena netto – **360 000 PLN**

Urządzenie fabrycznie nowe. Serwis dostępny w Polsce, czas reakcji do 48 godzin. Wraz z maszyną będzie dostarczona wszelka dokumentacja techniczno-ruchowa, stosowne atesty i dopuszczenie do stosowania oraz stosowne oznaczenia wymagane w Polsce, w tym znak CE.



Objaśnienia:

*WOM – wałek odbioru mocy ciągnika

** wymiary bramy – szerokość (wysokość) w mm