



The possibilities of green wastes from urban areas management for energetic and fertilizer purposes

Kamil WITASZEK¹, Krzysztof PILARSKI¹, Damian JANCZAK¹, Wojciech CZEKAŁA¹, Andrzej LEWICKI¹, Pablo César Rodríguez CARMONA¹, Jacek DACH¹, Robert MAZUR¹

¹ Uniwersytet Przyrodniczy, Wydział Rolnictwa i Bioinżynierii, ul. Wojska Polskiego 28, Poznań 60-637, tel.: 781167818, e-mail: witaszek@up.poznan.pl.

Abstract

In most European Union countries the biowastes (including green wastes) are collected separately and then recycled. In Poland yet in 2008 less than 5% of biowastes were collected selectively (major part was stored in the landfills) and scarcely in 2012 the situation has been significantly improved as a result of the new regulations implementation (the introduction of bio-waste containers).

The aim of the study is to compare the different technologies of management of green biowastes from the urban agglomeration areas for the values of the obtained from them products (pellets, biogas and compost).

The highest calorific value obtained the pellets from the cane over 18 MJ/kg. Pellets reached the largest economic profit.

Keywords: green wastes, biogas, pellets, composting

Streszczenie

Możliwości zagospodarowania odpadów zielonych z terenów aglomeracji miejskich na cele energetyczne i nawozowe.

W większości państw Unii Europejskiej bioodpady (w tym odpady zielone) są zbierane selektywnie i zagospodarowywane. W Polsce jeszcze w 2008 r. mniej niż 5% bioodpadów było zbieranych selektywnie (większość była składowana na składowiskach), a dopiero w 2012 roku sytuacja znacząco się poprawiła wskutek wdrożenia nowych przepisów (wprowadzenie pojemników na bioodpady).

Celem pracy jest porównanie różnych technologii zagospodarowania bioodpadów zielonych z terenów aglomeracji miejskich pod kątem wartości uzyskanych z nich produktów (pelety, biogaz oraz kompost).

Najwyższą wartość opałową uzyskały pelety z trzciny i topinamburu powyżej 18 MJ/kg, tym samym osiągając największy zysk ekonomiczny.

Słowa kluczowe: odpady zielone, biogaz, pelety, kompostowanie

1. Wstęp

Zapotrzebowanie na energię w obecnych czasach stale rośnie. Dlatego paliwa kopalne w dłuższym okresie czasu nie będą w stanie zaspokoić potrzeb ludności. Ponadto konwencjonalne źródła energii są nierównomiernie rozmieszczone, często bardzo trudno dostępne, lub występują w niestabilnych politycznie częściach świata.

Dlatego też w większości Państw Unii Europejskiej energia odnawialna zaczęła odgrywać znaczącą rolę w bilansie energetycznym kraju. Również w Polsce OZE zaczęły stanowić coraz to większy procentowy udział w produkcji energii. W naszym kraju największą rolę odgrywa spalanie biomasy (np. spalanie brykietów i peletów) oraz energia wiatrowa. Jednak takie źródła energii jak biogaz czy kompostowanie z roku na rok zwiększają swój udział w produkcji energii [1].

1.1. Zagospodarowanie bioodpadów na pelety

Pelety są materiałem opałowym powstającym z odpadów roślinnych sprasowanych pod wysokim ciśnieniem. Mogą to być: trociny, wióry, zrębki, trzciny, liście, trawy, a nawet wysuszona pulpa pofermentacyjna. Pelety mają postać granulatu w kształcie kulek lub walców o średnicy 6-25 mm i długości do kilku centymetrów. Charakteryzują się wartością opałową zbliżoną do drewna, niską wilgotnością, dużą gęstością, a podczas ich spalania powstaje znikoma ilość popiołu i gazów toksycznych. Przez takie właściwości pelety są bardzo dobrym paliwem do indywidualnych kotłów c.o. wyposażonych w automatyczne podajniki czy też kominków.

Technologia produkcji peletów praktycznie niczym nie różni się od technologii produkcji pasz granulowanych. Podczas wytwarzania peletów na maszyny i urządzenia działają dużo większe siły, dlatego też linie produkcyjne do peletów muszą charakteryzować się zwiększoną wytrzymałością.

Na rynku istnieje wiele urządzeń do peletyzacji i brykietowania biomasy o różnym stopniu zaawansowania technologicznego, o wydajności od 100 do nawet 10000 kg/h [9,10].

1.2. Zagospodarowanie bioodpadów na biogaz

Rząd Rzeczypospolitej Polskiej przyjął w 2010 r. dokument pt. „Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010-2020”. Zakłada on, że do 2020 roku w prawie każdej wiejskiej i miejsko-wiejskiej gminie ma powstać biogazownia, z czego wynika, że do 2020 roku ma być w naszym kraju około 2000 biogazowni. W większości będą to biogazownie rolnicze, jednakże część z tych instalacji będzie zasilana bioodpadami, w tym odpadami zielonymi z terenów aglomeracji miejskich. Z wymienionych wyżej bioodpadów najbardziej nadaje się do tego trawa, ponieważ liście z reguły są zanieczyszczone glebą, co stwarza problemy technologiczne w instalacjach biogazowych. Trawa zbierana z terenów zielonych może być stosowana na bieżąco jako wsad do biogazowni, równie dobrze może też być zakiszana i podawana częściowo [3,5,6].

1.3. Przetwarzanie odpadów zielonych na kompost

Odpady zielone takie jak trawa i liście równie dobrze mogą być przetwarzane w procesie kompostowania i traktowane są wtedy metodą odzysku R3. Aby proces kompostowania przebiegał prawidłowo bardzo ważne jest zachowanie odpowiednich parametrów procesu, takich jak odpowiednia porowatość (250-450 kg/m³), stosunek C:N (20-35) i wilgotność (50-75%). Kompostownia nie generuje energii w postaci prądu, ale jest źródłem ciepła i wysoce wartościowego nawozu. Budowa kompostowni nie wymaga tak dużych nakładów finansowych jak budowa biogazowni, dlatego planuje się jej budowę w wielu aglomeracjach miejskich w Polsce [7].

2. Cel pracy

Celem pracy jest zestawienie i ocena ekonomiczna różnych technologii zagospodarowania bioodpadów zielonych z terenów aglomeracji miejskiej. Przy ocenie wartości użytkowej produktów (biopaliw takich jak pelety, biogaz oraz kompost) będzie brana pod uwagę wartość opałowa peletu i biogazu, a w przypadku kompostu wartość nawozowa. Dla realizacji wyżej wymienionego celu pracy niezbędna jest realizacja kilku zadań badawczych:

- wytworzenie peletów z różnych rodzajów bioodpadów;
- określenie wartości opałowej peletu;
- określenie wydajności biogazowej wybranych bioodpadów;
- przeprowadzenie procesu kompostowania wybranych bioodpadów;
- przeliczenie wartości ekonomicznej produktów wytworzonych z bioodpadów w przeliczeniu na jednostkę masy odpadu.

3. Metodyka badań

Do obliczeń związanych z ilością generowanej energii produktów powstałych w różnych technologiach oraz możliwości porównania ich wartości energetycznej przyjęto, że wyniki zostaną wyrażone w zł/t. Jednostki te wyrażają wartość ekonomiczną(zł) danych produktów odniesioną do masy (ton).

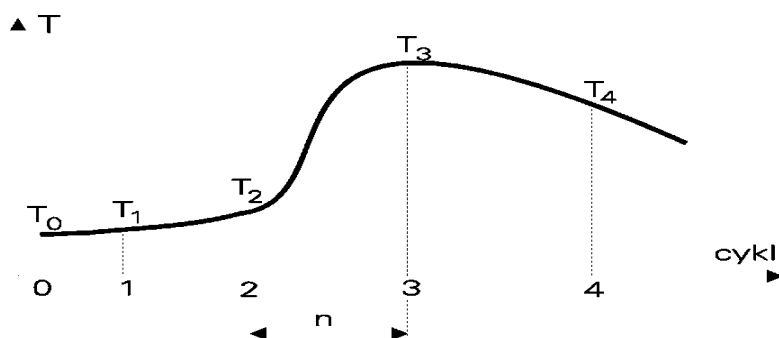
3.1. Metody analizy wartości peletów

Wartość opałową można zdefiniować jako ilość ciepła, która zostanie wydzielona przy spalaniu jednostki masy lub jednostki objętości paliwa przy jego całkowitym spalaniu, przy czym para wodna zawarta w spalinach nie ulega skropleniu, pomimo tego, że spaliny osiągną temperaturę początkową paliwa. Wartość opałowa peletu zależy od materiału z jakiego zostały wyprodukowane, jak również od wilgotności materiału i technologii produkcji [8].

3.1.1. Stanowiska badawcze do wyznaczenia wartości opałowej peletów

Do pomiarów ilości ciepła wydzielanego lub pobranego podczas przemian fizykochemicznych wykorzystywane są kalorymetry. Kalorymetry najczęściej składają się z izolowanego cieplnie naczynia napełnionego wodą wyposażonego w termometr i mieszadło.

Pomiar polega na całkowitym spalaniu badanej próbki paliwa. Odbywa się to w atmosferze tlenu pod ciśnieniem w bombie kalorymetrycznej (zanurzonej w wodzie) i na pomiarze przyrostu temperatury tej wody. Ciepło spalania paliwa wyliczane jest automatycznie i wyświetlane na ekranie komputera. Automatyczny cykl prowadzenia pomiaru zapewnia operatorowi łatwość obsługi i wygodę. Zasada działania kalorymetru oparta jest na pomiarze charakterystycznych temperatur bilansu cieplnego. Wartości te są: przetwarzane na postać cyfrową, analizowane i przeliczane przez komputer oraz zapamiętywane. Cały proces pomiarowy przebiega wg następującego wykresu (rys. 3.1):

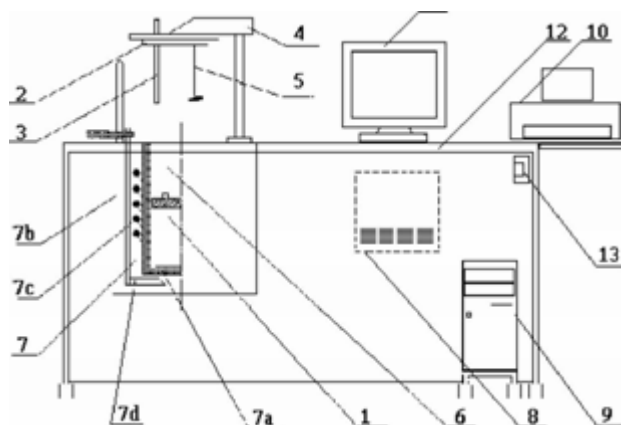


Rys. 3.1. Przykładowy przebieg procesu pomiaru kalorymetrycznego

W skład kalorymetru wchodzi następujące główne zespoły i elementy użytkowe zaznaczone w sposób schematyczny (rys. 3.2):

- 1 - bomba kalorymetryczna,
- 2 - pokrywa kalorymetru,
- 3 - czujnik temperatury,
- 4 - uchwyt pokrywy z umieszczonym w nim napędem mieszadła mechanicznego,
- 5 - mieszadło mechaniczne,
- 6 - naczynie kalorymetryczne,
- 7 - płaszcz kalorymetru składający się z:
 - 7a – ścianka wewnętrzna,
 - 7b - ścianka zewnętrzna,
 - 7c - węzownica
 - 7d - mieszadło ręczne,
- 8 - zespół sterujący kalorymetru,
- 9 - komputer,

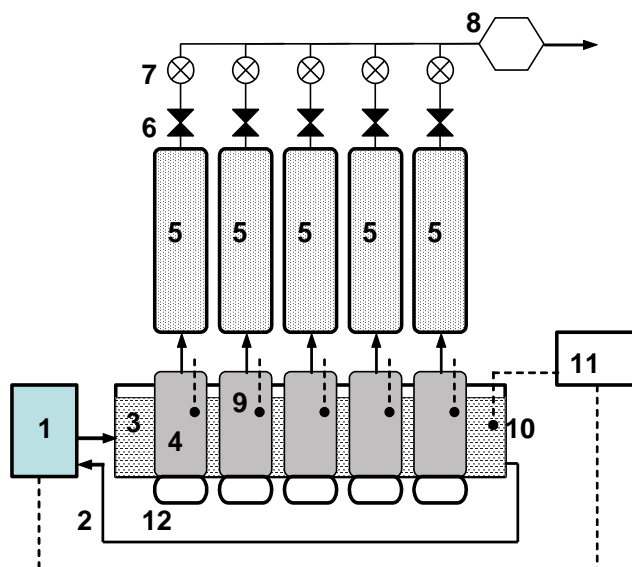
- 10 - drukarka,
 11 - monitor komputera,
 12 - stół kalorymetru,
 13 - listwa zasilająca z włącznikiem.



Rys. 3.2. Schemat budowy kalorymetru KL-12Mn

3.1.2. Metody analizy wartości biogazowej

Do przeprowadzenia badań wydajności biogazowych (objętości wydzielanego biogazu oraz zawartości metanu) stosuje się 21-komorowy biofermentor (rys. 3.3) o pojemności komór 2 dm^3 , który jest na wyposażeniu Laboratorium Ekotechnologii w Instytucie Inżynierii Rolniczej UP w Poznaniu. Badania są przeprowadzane wg standardowej metodyki przygotowania próbek oraz przeprowadzenia pomiarów biogazowych. Wszystkie przygotowane próbki muszą posiadać zawartość suchej masy poniżej 10%, badania wykonują się w trzech powtórzeniach [2,4].

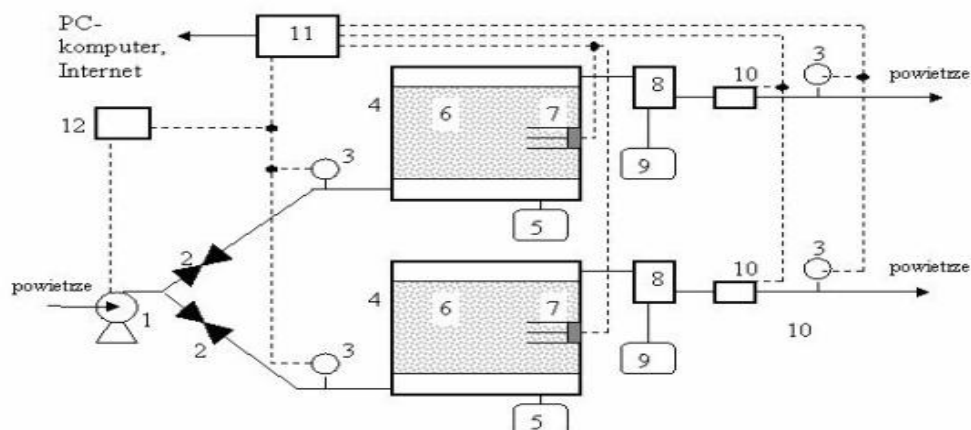


Rys. 3.3. Schemat biofermentora (sekcja 5-komorowa): 1. Ogrzewacz wody z regulatorem temperatury, 2. Izolowane przewody cieczy ogrzewającej, 3. Płaszcz wodny o temp. $36-38^{\circ}\text{C}$, 4. Biofermentor z wsadem o pojemności 2 dm^3 , 5. Zbiornik na biogaz, 6. Zawory odcinające, 7. Przepływomierze gazowe, 8. Analizatory gazowe (CH_4 , CO_2 , NH_3 , SH_2), 9. Sensory pH, 10. Sensor temperatury, 11. Centrala sterująco-rejestrująca, 12. Mieszadła magnetyczne wsadu.

3.1.3. Metodyka badań kompostowych

Badania kompostowe przeprowadzono z wykorzystaniem izolowanego bioreaktora, zbudowanego przez członków KNIR (Koło Naukowe Inżynierii Rolniczej) w 2007 r. Bioreaktor był odwzorowaniem istniejących już 2 i 4-komorowych bioreaktorów (rys. 3.4), wykorzystywanych do badań modelowych rozkładu różnych bioodpadów w Laboratorium Ekotechnologii w Instytucie Inżynierii Rolniczej UP w Poznaniu.

W czasie badań mierzono takie parametry procesowe jak: zmiany temperatury, wilgotność masy, masę usypową, pH, materię organiczną, popiołu, C/N, azot amonowy, a także mierzono emisje gazów (amoniaku, dwutlenku węgla, tlenu i metanu).

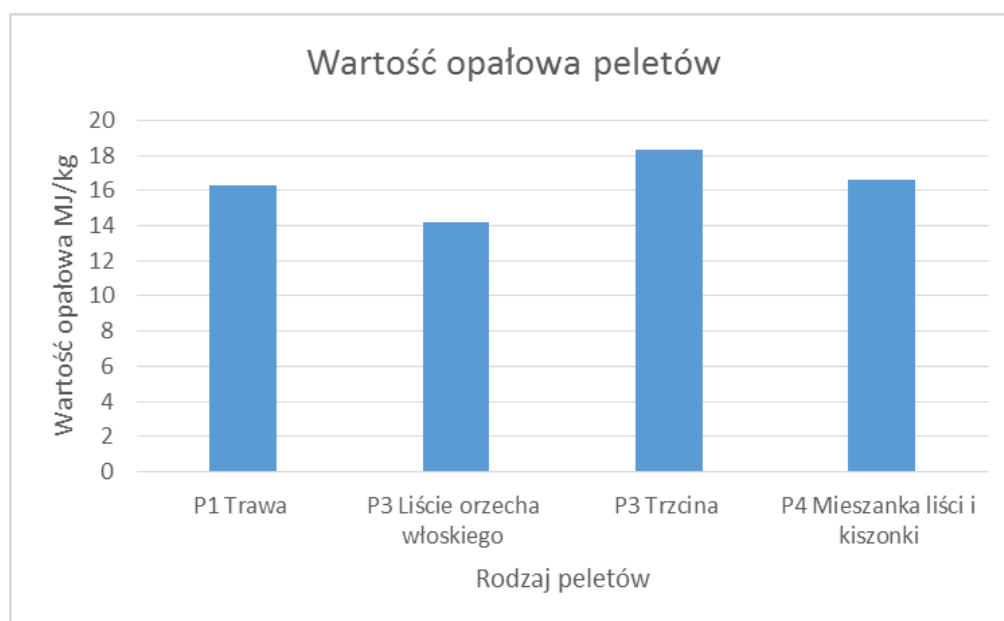


Rys. 3.4. Bioreaktor

4. Wyniki badań

4.1. Charakterystyka uzyskanych peletów

Największą wartość opałową uzyskały pelty z trzciny, natomiast najmniejszą wartość opałową charakteryzowały się pelty z liści orzecha włoskiego. Pozostałe wartości opałowe przedstawia rysunek 4.1.



Rys. 4.1. Wykres wartości opałowej peletów

Wartość opałowa pelletu:

P1 Trawa $Q=16,3$ MJ/kg

P2 Liście orzecha włoskiego $Q=14,2$ MJ/kg

P3 Trzcina $Q=18,3$ MJ/kg

P4 Mieszanka liści i kiszunki $Q=16,6$ MJ/kg

4.2. Wytwarzanie biogazu z odpadów zielonych

Kiszonka z trawy

Trawa zbierana z obszarów aglomeracji miejskich świetnie nadaje się jako wsad do biogazowni lub może zostać poddana procesowi zakiszania i być następnie wykorzystywana sukcesywnie w ciągu całego roku. Tabela 4.1 przedstawia podstawowe parametry fizyko-chemiczne kiszunki z trawy.

Tabela 4.1. Właściwości kiszunki z trawy [KTBL 2005]

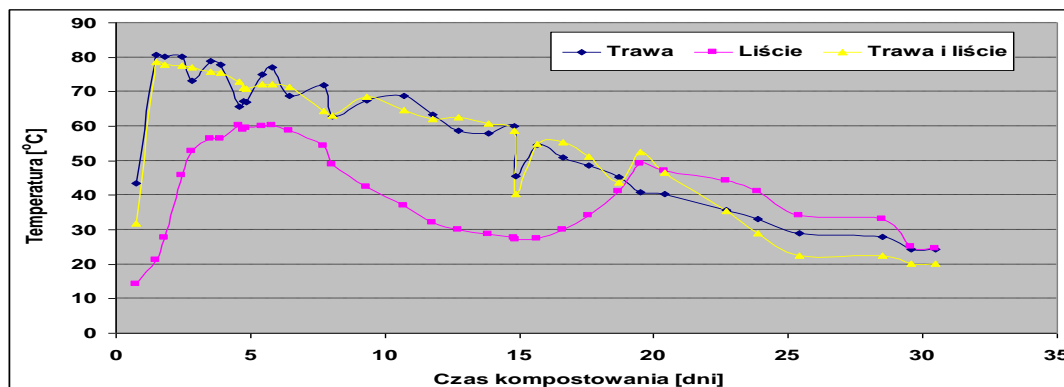
Podłoże	sm [%]	smo [% sm]	N	NH ₄	P ₂ O ₅	uzysk biogazu		Zawartość CH ₄ [% obj.]
			[% sm]			m ³ /t śm	m ³ /t smo	
Kiszonka z trawy	25-50	70-95	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8	170-200	550-620	54-55

4.3. Kompostowanie odpadów zielonych

Doświadczenie przeprowadzono w 3 wariantach:

- kompostowanie 100% trawy
- kompostowanie 100% liści
- kompostowanie trawy i liści w proporcji 1:1 (w suchej masie)

W pierwszym z wariantów nie uzyskano zadowalających efektów, już po dwóch tygodniach objętość trawy zmalała o ok. 70%, co zahamowało proces kompostowania. Trawa przybrała postać błotnistej mazi o nieprzyjemnym zapachu. Można więc stwierdzić, że sama trawa nie nadaje się do procesu kompostowania. W przypadku samych liści, proces kompostowania przebiegł w znikomym stopniu. Materiał wsadowy niewiele się różnił od materiału po przekompostowaniu. Oznacza to, że zarówno kompostowanie mieszanki w 100% liści, jak i trawy nie daje dobrych efektów w postaci młodego kompostu, który nadawałby się do dalszego dojrzewania. Trzeba jednak zaznaczyć, że materiał uzyskany na bazie liści dawał jeszcze nadzieję na dalszy rozkład w kierunku uzyskania kompostu. Przerobiona trawa osiągnęła stan, w którym procesy gnicia dominowały nad procesami aerobowymi. Stosunkowo najlepszy efekt uzyskano kompostując mieszankę liści i trawy w stosunku 1:1 (w suchej masie). Materiał ten osiągnął dość wyraźny etap fazy termofilnej, który przebiegał znacznie dłużej niż w przypadku samej trawy (rys. 4.2). W końcowej fazie doszło do zapadnięcia się mieszaniny na skutek całkowitego przekompostowania trawy, a rozkładające się liście nie były w stanie zapewnić odpowiedniej struktury mieszaniny.



Rys. 4.2. Wykres temperatury procesu kompostowania

5. Analiza ekonomiczna

W tej części pracy zostanie przedstawiona analiza ekonomiczna trzech technologii zagospodarowania biomasy z terenów aglomeracji miejskiej. Będą to analizy ekonomiczne peletu, biogazu i kompostu.

5.1. Analiza ekonomiczna peletu

Do produkcji peletów wykorzystano następujące surowce: kiszonkę z kukurydzy, trawę, liście orzecha włoskiego, trzcinę, topinambur i mieszankę z liści. Poniżej zostały przedstawione przychody ze spalania peletów z różnych surowców. Koszt węgla przyjęto około 700 zł/t. Przychód oznaczono jako Q.

- 1) Pelet z trawy $Q=16,3 \text{ GJ/t}=0,652 \text{ t}=456 \text{ zł}$
- 2) Pelet z liści orzecha $Q=14,2 \text{ GJ/t}=0,568 \text{ t}=398 \text{ zł}$
- 3) Pelet z trzciny $Q=18,3 \text{ GJ/t}=0,732 \text{ t}=512 \text{ zł}$
- 4) Pelet z mieszanki $Q=16,2 \text{ GJ/t}=0,648 \text{ t}=453 \text{ zł}$

5.2. Analiza ekonomiczna biogazu

Jedna tona trawy pozwala uzyskać około 185 m^3 biogazu o zawartości metanu 55%. Z 1 m^3 biogazu możemy wyprodukować około 2.032 kWh energii elektrycznej. Przychód z tytułu sprzedaży energii elektrycznej do sieci wynosi 600 zł/MWh. Na przychód składają się następujące elementy:

- 1) 200 zł – cena energii elektrycznej,
- 2) 270 zł – wartość zielonego certyfikatu,
- 3) 130 zł – wartość żółtego certyfikatu.

Po obliczeniach daje to następującą wartość:

$$185 \text{ m}^3 * 2.032 \text{ kWh} = 375 \text{ kWh} = 0,375 \text{ kWh} * 600 \text{ zł/MWh} = \mathbf{225 \text{ zł/t}}$$

Z jednej tona kiszonki z trawy otrzymujemy 185 m^3 biogazu o zawartości metanu 55% co daje nam:

$$185 \text{ m}^3 * 2.032 \text{ kWh} = 375 \text{ kWh} = 0,375 \text{ kWh} * 600 \text{ zł/MWh} = 225 \text{ zł/t}$$

5.3. Analiza ekonomiczna kompostu

W przypadku kompostu nie otrzymujemy energii elektrycznej tylko nawóz organiczny. Poniżej została przedstawiona zawartość NPK w 1 kilogramie trawy i cena NPK.

Zawartość NPK w trawie:

$$N = 15 \text{ g/kg}$$

$$P = 10,5 \text{ g/kg}$$

$$K = 8 \text{ g/kg}$$

Cena:

$$N = 3 \text{ zł/kg}$$

$$P = 6 \text{ zł/kg}$$

$$K = 3,5 \text{ zł/kg}$$

Z jednej tony trawy o wilgotności 33% możemy otrzymać nawóz organiczny o wartości 299 zł.

6. Podsumowanie

1. Odpady zielone z terenów aglomeracji miejskich możemy zagospodarować trzema metodami:

- a. peletyzacja
- b. biogazowanie
- c. kompostowanie

2. Najbardziej opłacalną metoda okazała się paletyzacja odpadów zielonych. Pelety charakteryzowały się największym przychodem spośród wszystkich trzech technologii zagospodarowania biomasy. Zysk ten wynosił od 398 zł/t dla peletu z liści orzecha włoskiego, do nawet 512 zł/t dla peletu z trzciny. Natomiast najwyższa wartość opałową uzyskały pelety z trzciny powyżej 18 MJ/kg.

3. Przychód z kompostu z trawy wyniósł 299 zł/t.

4. Przychód z biogazowania trawy i kiszonki z kukurydzy wyniósł 225 zł/t.

7. Literatura

1. Kubica K. 2008 Opracowanie: Energetyczne wykorzystanie biomasy – uwarunkowania techniczno-technologiczne. Polski Klub Ekologiczny Okręg Górnośląski.
 2. Dach J., Jędrus A., Kowalik I. 2004 Biofermentor do badań procesów rozkładu płynnych odpadów organicznych. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, nr 4, 10-13.
 3. Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Zollitsch W., Mayer K., Gruber L. 2007 Biogas production from maize and dairy cattle manure—Influence of biomass composition on the methane yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 118, Issues 1-4, January 2007, Pages 173-182.
 4. DIN 38 414 (1985): Bestimmung des Faulverhaltens „Schlamm und Sedimente“. Beuth Verlag, Berlin.
 5. KTBL, 2005 Biogaz. Produkcja. Wykorzystywanie. s. 190.
 6. Koriath H. i inni: Güllewirtschaft-Gülledüngung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin 1975.
 7. Hepperly P. i inni. 2009. Compost, Manure and Synthetic Fertilizer Influences Crop Yields, Soil Properties, Nitrate Leaching and Crop Nutrient Content. *Compost Science & Utilization*, Vol. 17, No. 2, 117-126.
 8. Winnicka G. 2009 Opracowanie: Badania właściwości biomasy stałej do celów energetycznych. Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla – Zabrze.
 9. Temmerman M. i inni. 2006 Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes. *Biomass and Bioenergy* 30 , s.964–972.
 10. Jakubiak M., Kordylewski W. 2010 Pellety podstawowym biopaliwem dla energetyki. Politechnika Wrocławska, Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów.
-