



Potencjał energetyczny substratów roślinnych pochodzących z nieużytków drogowych

*Magda Dudek, Anna Grala, Marcin Zieliński, Marcin Dębowski
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn*

1. Wstęp

Bardzo dużo uwagi przywiązuje się w ostatnim czasie do rozwoju technologii procesów beztlenowych pozwalających na wytworzenie biogazu, czyli nośnika energii zawierającego w swoim składzie głównie metan i dwutlenek węgla. Biogaz stał się więc bardzo pożądanym i czystym źródłem energii, który w układach skogenerowanych, pozwala nam na pozyskanie zarówno energii cieplnej jak i elektrycznej.

Największym problemem w tym przypadku staje się rodzaj oraz sposób pozyskania i przygotowania biomasy przed procesem beztlenowym. W literaturze pojawia się coraz więcej wzmianek oraz badań nad wyspecjalizowaną hodowlą roślin energetycznych, których plantacje byłyby specjalnie ukierunkowane na pozyskanie z nich jak największej ilości biogazu bogatego w metan. W Polsce, ale również na całym świecie uprawia się takie rośliny energetyczne jak sorgo, lucerna, kukurydza, słonecznik, koniczyna, trawa bądź mieszanki trawy z roślinami motylkowymi, buraki cukrowe czy powszechnie stosowane słoma i odpadki z leśnictwa. Źródła literaturowe podają także informacje na temat wyko-

rzystania do celów energetycznych zieleni miejskiej pochodzącej z trawników, stadionów oraz pól golfowych oraz różnego rodzaju odpadów i ścieków pochodzących z przemysłu drzewnego co przyczynia się jednocześnie do utylizacji tych odpadów rozwiązując tym samym problem ich zagospodarowania. Do grupy tej można by dodać jeszcze jeden substrat a mianowicie nieużytki drogowy. W skład ich wchodzi głównie przydrożne trawy oraz liście opadające z przydrożnych drzew. Do najbardziej znanych przydrożnych gatunków zaliczyć można oprócz traw i drzew, głównie liściastych także takie rośliny jak Nostrzyk żółty (*Melilotus officinalis*), Ostrożeń warzywny (*Cirsium olearecum*), Cykoria podróżnik (*Cichorium intybus*), Marchew zwyczajna (*Daucus carota*). Jest to często kłopotliwa biomasa ze względu na jej skażenie substancjami szkodliwymi głównie metalami ciężkimi takimi jak ołów, kadm, rtęć czy cynk, które dostają się ze spalin do gleb skąd później są pobierane przez rośliny. Mogą być one jednak, na co wskazują poniższe badania przefermentowane z korzyścią dla środowiska, ale także niosą za sobą korzyści finansowe. Często zdarza się tak, że biomasa taka jak np. trawy po ścięciu jest pozostawiona na miejscu i nie podlega żadnej utylizacji czy innemu przekształceniu. Jest to cenne źródło biomasy do produkcji energetycznie wydajnego biogazu. Jednak wzrost udziału energii pozyskiwanej z biomasy roślinnej jest procesem długoterminowym. Zastosowanie technologii fermentacji metanowej może w znacznym stopniu usprawnić system produkcji biogazu [4, 7].

Rozwijająca się w ostatnim czasie koncepcja małych biogazowni rolniczych mogłaby skorzystać na współfermentowaniu nieużytków drogowych wraz z innymi rodzajami biomasy i odpadami organicznymi stosowanymi do produkcji biogazu w gospodarstwach rolnych. Produkcja bioenergii z biomasy może się zatem stać jedną z kluczowych możliwości ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i zastąpienia paliw kopalnych [2, 5].

2. Metodyka

Substratami jakie zostały zastosowane w doświadczeniu wraz z osadem beztlenowym były przydrożne nieużytki głównie mieszanka rozdrobnionych liści z przydrożnych drzew takich jak topola włoska (*Populus nigra*) i lipa (*Tilia europaea*) wraz z trawami. Na potrzeby badań pobrano 5 losowo zebranych próbek o objętości ok. 0,5 l każda.

Próbki zostały pobrane w Olsztynie przy ulicy Warszawskiej zbierano je na długości 5 km, każdą co 1km. Następnie w warunkach laboratoryjnych za pomocą urządzenia Robot Coupe Blixer substrat został rozdrobniony do wielkości cząstek 2 mm i w takiej formie zastosowano go jako wsad do komór fermentacyjnych. Przed przystąpieniem do procesu fermentacji określono dla pobranego substratu zawartość suchej masy oraz zawartość frakcji organicznej i mineralnej. Rozdrobniona i ujednolicona próbka substratu roślinnego dla każdego z pięciu miejsc poboru była sześciokrotnie poddawana je analizie na stężenie suchej masy ogólnej oraz organicznej i mineralnej, poprzez oznaczenie suchej pozostałości, pozostałości po prażeniu oraz strat po prażeniu. W tabeli 1 zaprezentowano charakterystykę testowanej biomasy.

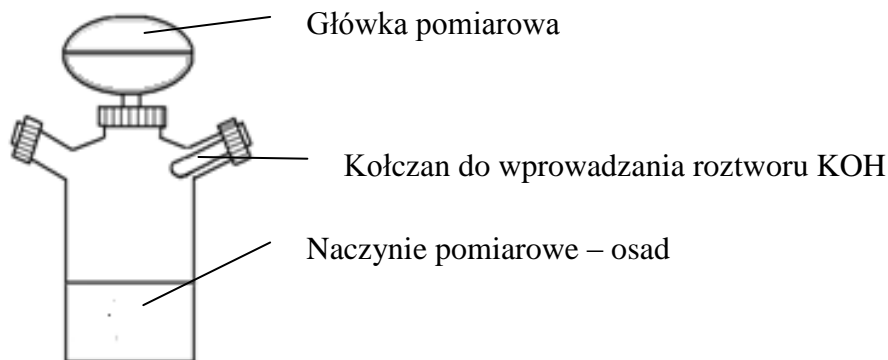
Tabela 1. Wartość suchej masy ogólnej, organicznej i mineralnej
Table 1. The values of the total mass, organic and mineral

Próbka	Sucha masa [mg/g]		
	Ogólna	Organiczna	Mineralna
próbka 1	344	259	86
próbka 2	338	254	84
próbka 3	405	314	92
próbka 4	326	288	38
próbka 5	343	285	58

Metoda badawcza zastosowana podczas prowadzenia doświadczenia pozwoliła określić aktywność osadu beztlenowego, podatność stosowanych substratów organicznych na biodegradację oraz ilość i skład gazowych produktów metabolizmu. Zastosowano zestawy respirometryczne typu Oxi-Top Control firmy WTW. Wyposażone były one w komorę reakcyjną o objętości 1 litra połączoną szczelnie z urządzeniem pomiarowo-rejestrującym. Zastosowana metoda ta pozwala określić aktywność osadu beztlenowego, podatność stosowanych substratów organicznych, czyli w tym przypadku nieużytków przydrożnych na biodegradację a także możliwe było oszacowanie ilości i składu gazowych produktów metabolizmu. Proces prowadzony był przez mikroorganizmy w warunkach beztlenowych a produkcja biogazu określana była dzięki zmianom ciśnienia parcjalnego w komorze pomiarowej rejestro-

wanego i analizowanego przez urządzenia pomiarowe. Zastosowano obciążenie w komorze fermentacji wynosiło $1 \text{ kg s.m./m}^3 \cdot \text{d}$.

W celu zapewnienia warunków beztlenowych na początku eksperymentu dokonano odtlenienia objętości reaktora przez przedmuchiwanie azotem. W pojedynczej komorze reakcyjnej umieszczano określoną 25 ml biomasy osadu beztlenowego, a następnie wprowadzano odpowiednią ilość substratu wyliczoną na podstawie zawartości suchej masy organicznej. Wykorzystywany w badaniach osad beztlenowy pochodził z doświadczalnej instalacji biogazowej pracującej w skali półtechnicznej i przetwarzającej substraty roślinne. Kompletny zestaw pomiarowy składający się z komory reakcyjnej oraz urządzenia pomiarowo-rejestrującego umieszczono w szafie termostatującej o histerezie nie przekraczającej $\pm 0,5^\circ\text{C}$ (rys. 1). Pomiary prowadzone były w temperaturze 35°C . Czas pomiaru wynosił 20 d. Wartości ciśnienia w komorze reakcyjnej były rejestrowane co 15 min. Siedemnastego dnia pomiaru do specjalnego pojemnika znajdującego się we wnętrzu komory reakcyjnej wprowadzono ok. 2 cm^3 30% zasady potasowej (KOH). Pozwoliło to na wytrącenie z fazy gazowej ditlenku węgla (CO_2). Spadek ciśnienia w komorze reakcyjnej odpowiadał stężeniu ditlenku węgla, natomiast za pozostałą wysokość ciśnienia odpowiadała stężenie metanu.



Rys. 1. Model komory beztlenowej zastosowanej w badaniach wraz z urządzeniem pomiarowo-rejestrującym

Fig. 1. Model of the anaerobic chamber used in the study along with measuring and recording device

Podstawą obliczeń w badaniach respirometrycznych jest równanie gazu doskonałego:

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \quad (1)$$

gdzie:

n – liczba moli gazu [mol],

p – ciśnienie gazu [Pa],

V – objętość gazu [m^3],

R – uniwersalna stała gazowa [8,314 J/mol · K],

T – temperatura [K].

Zawartość węgla w fazie gazowej:

$$n_{CO_2} + n_{CH_4} = \frac{p_1 \cdot V_g}{R \cdot T} \times 10^{-4} \quad (2)$$

gdzie:

$n_{CO_2 + CH_4}$ – ilość wytworzonych moli ditlenku węgla i metanu [mol],

p_1 – różnica ciśnienia gazu w naczyniu badawczym na początku i na końcu doświadczenia, spowodowana zużywaniem tlenu i absorpcją powstającego CO_2 [hPa],

V – objętość fazy gazowej w komorze pomiarowej [ml],

R – stała gazowa [8,314 J/mol · K],

T – temperatura inkubacji [K],

10^{-4} – współczynnik przeliczeniowy Pa na hPa oraz m^3 na cm^3 .

Liczbę moli ditlenku węgla w fazie gazowej:

$$n_{CO_2} = \left(\frac{p_1 \cdot V_g - p_2 \cdot (V_g - V_{KOH})}{R \cdot T} \right) \cdot 10^{-4} \quad (3)$$

gdzie:

n_{CO_2} – liczbę wytworzonych moli ditlenku węgla [mol],

p_2 – różnica ciśnienia gazu w odpowiednim naczyniu badawczym na końcu doświadczenia minus ciśnienie na początku doświadczenia minus ciśnienie w próbce ślepej po dodaniu roztworu KOH [hPa],

V_{KOH} – objętość roztworu KOH [ml].

Liczbę moli metanu w fazie gazowej:

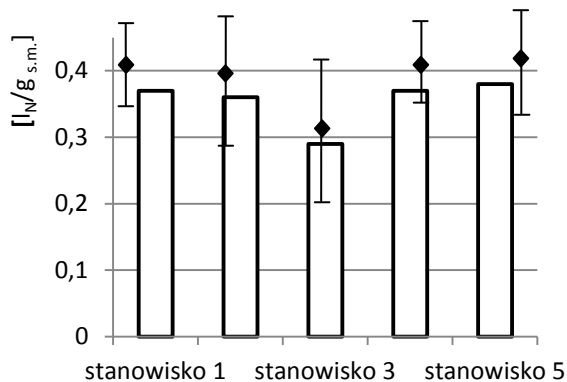
$$n_{CH_4} = n_{CO_2+CH_4} - n_{CO_2} \quad (4)$$

Dla substratu pobranego w każdym z pięciu miejsc dokonano sześciokrotnego powtórzenia analizy ilości i jakości produkowanego biogazu. Wyznaczono wartości średnie oraz błąd i odchylenie standardowe ilości produkowanego biogazu oraz zawartości podstawowych składników: metanu i dwutlenku węgla. Normalność rozkładu została potwierdzona testem W Szapiro–Wilka, natomiast hipotezę o jednorodności wariancji w grupach weryfikowano na podstawie testu Leveney’a. Badania różnic między średnimi z poszczególnych grup przeprowadzono stosując test Tukeya RIR (rozsądnych istotnych różnic).

3. Wyniki badań

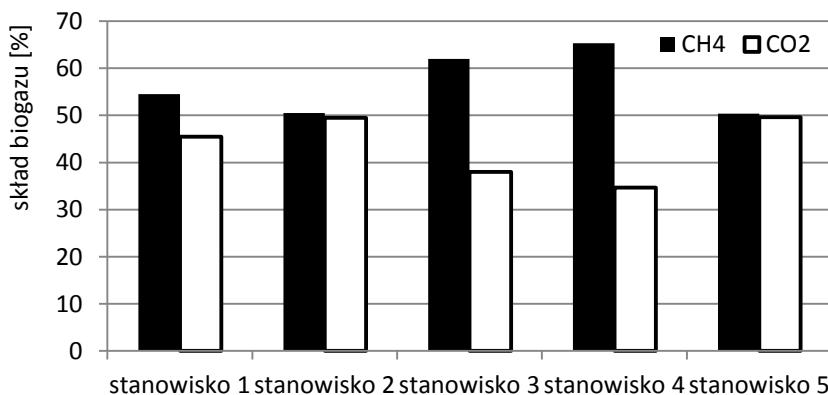
Przeprowadzone badania respiometryczne określające ilość i skład biogazu powstającego w wyniku fermentacji metanowej roślin pochodzących z obszarów zieleni przydrożnej wskazują na znaczny potencjał tego substratu. Ilość powstającego biogazu w warunkach eksperymentu wynosiła średnio od 0,29 l/g_{s.m.} w przypadku próbek pobranych na stanowisku 3, do 0,38 l/g_{s.m.} w przypadku próby pobranej na stanowisku 5 (rys. 2). Przy czym nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w ilości powstającego biogazu pomiędzy próbami poddawanego fermentacji substratu z kolejnych stanowisk badawczych. Największa zmienność wewnątrz grupy miała miejsce w przypadku badań fermentacji substratu ze stanowiska 3. Minimalnie na tym stanowisku uzyskano 0,2 l/g_{s.m.}, maksymalnie natomiast 0,38 l/g_{s.m.} biogazu.

Skład biogazu powstałego podczas fermentacji metanowej substratu roślinnego pochodzącego z nieużytków drogowych cechowała znaczna zmienność zależnie od stanowiska poboru. Średnio dla wszystkich stanowisk metan stanowił 56,5%, natomiast ditlenek węgla 43,5%. Największą procentową zawartość metanu stwierdzono w przypadku procesu fermentacji roślin pochodzących ze stanowiska 4, w tym przypadku metan stanowiła, aż 63% powstałego biogazu. Znacząco niższy był udział metanu w biogazie pozyskanym z substratu ze stanowiska 2 i 4. W tym przypadku metan stanowił około 50,5% (rys. 3).



Rys. 2. Ilości biogazu uzyskiwane z substratu pochodzącego z nieużytków drogowych

Fig. 2. The quantities of biogas generated from the substrate from road barriers



Rys. 3. Procentowa zawartość podstawowych składników biogazu

Fig. 3. The percentage of basic components of biogas

4. Dyskusja wyników

Możliwość wykorzystania roślin energetycznych jako substratu do procesu biogazownia jest przedmiotem licznych doniesień naukowych. Seppälä i inni (2000) badali wydajność energetyczną czterech rodzajów traw: kupkówka pospolita *Dactylis glomerata* L., kostrzewa wysoka *Festuca arundinaceae* Schreb, mozga trzcinowata *Phalaris arundi-*

naceae L. oraz *Phleum pratense L.*). Szczegółowe ilości pozyskanego metanu z plonów wszystkich traw wynosiła od 253 do 394 l_N/kg_{s.m.}. Średnia właściwa wydajność metanu z pierwszego zbioru wszystkich traw była zawsze wyższa niż ze zbioru drugiego. Wartości te są zbliżone do uzyskanych w prezentowanych badaniach. Średnio dla wszystkich stanowisk ilość powstającego biogazu wynosiła 354 l_N/kg_{s.m.} [6]. Podstawowym składnikiem pobieranych na kolejnych stanowiskach substratów roślinnych były trawy, stąd uzyskiwane ilości biogazu są zbliżone do uzyskiwanych dla traw uprawowych.

W innej publikacji [1] pojawiają się wyniki produkcji metanu z roślin, które dosyć często stanowią substrat w procesie fermentacji metanowej. Autorzy doświadczeniem objęli 7 rodzajów kukurydzy, 2 gatunki pszenicy ozimej, 2 odmiany pszenżyta, 1 żyta ozimego i 6 odmian słonecznika, wariantem były również trawy z użytków zielonych. Badano następujące aspekty: przydatność różnych gatunków i odmian roślin, optymalny czas zbiorów, wydajność metanu z poszczególnych gatunków oraz wydajność metanu z hektara. Wyliczona ilość metanu, który można uzyskać w wyniku fermentacji traw z łąk alpejskich wynosiła według autorów 3200÷3500 m³ CH₄/ha na rok. Była to ilość znacząco niższa od ilości metanu uzyskiwanego z hektara uprawy kukurydzy (7500÷10200 m³/ha·a) [1]. Wyniki te jednoznacznie wskazują iż w przypadku celowych upraw energetycznych bardziej korzystne jest wykorzystanie kukurydzy. Należy jednak pamiętać iż kukurydza posiada znaczne wymagania glebowe, a areale przeznaczone pod uprawy energetyczne z reguły są gorszej jakości. W tym kontekście, a także biorąc pod uwagę rosnące ceny zbóż wydaje się iż wykorzystanie roślin pochodzących z przydrożnych nieużytków zielonych ma uzasadnienie. W większości miast regularnie prowadzi się koszenie trawników, zbierana masa zielona może być potencjalnie cennym substratem w biogazowni.

Kolejni z autorów [3] przeprowadzili badania nad fermentacją odpadów, które stanowiły łodygi bawełny, nasiona kadłuba bawełny oraz makuchy bawełny. W eksperymencie zastosowane specjalne podłoże zawierające wszystkie niezbędne makro i mikro składniki odżywcze potrzebne do prawidłowego wzrostu bakterii beztlenowych. Doświadczenie przeprowadzono dla dwóch różnych stężeń odpadów (30 i 60 g). W ciągu 23 dni trwania procesu fermentacji udało się osiągnąć kolejno z zastosowanych substratów 65, 86 i 78 ml CH₄ z 1 g odpadów [3].

5. Podsumowanie

Uzyskane wyniki wielkości produkcji oraz składu biogazu, powstającego podczas fermentacji metanowej substratu roślinnego pochodzącego z nieużytków przydrożnych wskazują na potencjalna możliwość wykorzystania tego źródła biomasy. Średnio uzyskiwano biogaz w ilości 0,354 l/g_{s.m.} (354 m³/t) przy zawartości metanu około 56,5%. Biorąc pod uwagę iż w większości miast w naszym kraju prowadzi się regularne okresowe koszenie terenów zielonych w miastach można wykorzystywać pozyskiwany materiał jako wsad do lokalnych biogazowni. Koszona trawa jest zbierana i wywożona, koszt związany z tą operacją jest więc ponoszony niezależnie od tego, czy substrat zostanie wykorzystany czy nie.

Podziękowania

Przedstawione prace zostały wykonane w ramach realizacji projektu kluczowego pt. Modelowe kompleksy agroenergetyczne jako przykład kogeneracji rozproszonej opartej na lokalnych i odnawialnych źródłach energii, nr POIG.01.01.02-00-016/08, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007÷2010.

Literatura

1. **Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Machmüller A., Hopfner-Sixt K., Bodiroza V., Hrbek R., Friedel J., Pötsch E., Wagentristsl H., Schreiner M., Zollitsch W.:** *Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations.* Bioresource Technology, Volume 98, Issue 17, Pages 3204÷3212. December 2007.
2. **Faaij A.P.C.:** *Bio-energy in Europe: changing technology choices.* Energy Policy, Volume 34, Issue 3, Pages 322÷342. February 2006.
3. **Isci A., Demirer G.N.:** *Biogas production potential from cotton wastes.* Renewable energy, Volume 32, Issue 5, Pages 750÷757. April 2007.
4. **Nilsson L.J., Pisarek M., Buriak J., Oniszk-Popławska A., Bućko P., Ericsson K., Jaworski L.:** *Energy policy and the role of bioenergy in Poland.* Energy Policy, Volume 34, Issue 15, Pages 2263÷2278. October 2006.
5. **Prochnow A., Heiermann M., Plöchl M., Linke B., Idler C., Amon T., Hobbs P.J.:** *Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas.* Bioresource Technology, Volume 100, Issue 21, Pages 4931÷4944. November 2009.

6. **Seppälä M., Paavola T., Lehtomäki A., Rintala J.:** *Biogas production from boreal herbaceous grasses – Specific methane yield and methane yield per hectare.* Bioresource Technology, Volume 100, Issue 12, Pages 2952–2958. June 2009,
7. **Styles D., Jones M. B.:** *Current and future financial competitiveness of electricity and heat from energy crops: A case study from Ireland.* Energy Policy, Volume 35, Issue 8, Pages 4355–4367. August 2007.

The Biogas Potential of Plant Feedstock from Road Barrens

Abstract

The paper presents the results of research on the quantity and quality of biogas produced in the process of methane fermentation of vegetable substrates from road barrens.

The study used a mixture of waste collected along one of the streets in Olsztyn. The waste included in its composition the fallen leaves of roadside trees, especially poplar italian (*Populus nigra*) and linden (*Tilia europaea*) and roadside grasses. In order to efficiently process the collected material it was grinded to particle size of 2 mm using Robot Coupe Blixer. Then for each sample the analysis of solids was performed six times and waste were treated in anaerobic digestion process in the dynamic sets using a respirometric Oxi-Top Control WTW. They were equipped with a reaction chamber with a volume of 1 liter tightly coupled with the device – measuring unit. This method allows to determine the activity of anaerobic sludge, the susceptibility of organic substrates, in this case roadside waste, to biodegradability and it was possible to estimate the quantity and composition of gaseous products of metabolism. The process was carried out by microorganisms under anaerobic conditions and the production of biogas was determined by the changes of partial pressure in the measuring chamber recorded and analyzed by measuring devices. Applied load in the chamber was 1 kg of fermentation d.m./m³·day.

For substrate collected in each of five sites the analysis of quality and quantity of biogas produced was performed. The values of mean and standard deviation of the error and the quantity of biogas and the contents of basic components: methane and carbon dioxide were determined. Normality of distribution was confirmed by a test of the Shapiro-Wilk, while the hypothesis of homogeneity of variance in the groups was verified on the basis of Leveney test.

Tests of differences between the averages of each group were performed using Tukey test RIR (reasonably significant difference).

The amount of biogas in the conditions of the experiment ranged from 0.29 l/g d.m. for samples taken from 3, to 0.38 l/g d.m. in the case of the sample taken from 5 (Figure 2). At the same time there was no statistically significant differences in the amount of biogas formed between the substrate of fermentation attempts of successive research points.

Average for all points was 56.5% methane, and carbon dioxide 43.5%. The highest percentage of methane was found in biogas plants originating from point 4, in this case, methane was up 63% of the resulting biogas. Significantly lower was the participation of methane in the biogas obtained from the substrate from the point 2 and 4. In this case, methane accounted for about 50.5%.

The possibility of using energy crops as a substrate for biogas process is the subject of numerous scientific reports that confirm the effective use of different kinds of biomass fermentation processes. Often, the biomass materials are mainly from agricultural waste or specially geared towards the production of energy crops.

The obtained results of volumes and composition of biogas produced during anaerobic digestion plant substrate from roadside wasteland indicate the potential use of this source of biomass.

