

WPLYW STOPNIA ROZDROBNIENIA BIOMASY ROŚLINNEJ NA PRODUKCJĘ BIOGAZU

Agnieszka Kasprzycka, Justyna Lalak, Jerzy Tys

Institut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: j.lalak@ipan.lublin.pl

Streszczenie. Obróbka wstępna surowców wykorzystywanych, jako substrat w instalacjach biogazowni rolniczych jest niezbędnym zabiegiem pozwalającym na szybszy i sprawniejszy przebieg procesu fermentacji metanowej. Celem pracy było określenie wpływu mechanicznej obróbki wstępnej na ilość i jakość biogazu w procesie fermentacji metanowej. Materiał do badań stanowiły trawy energetyczne: miskant olbrzymi i mozga trzcinowata o dwóch zróżnicowanych przedziałach długości siewki: 0,5-3 mm, 4-8 mm. Pomyślny przebieg eksperymentu wskazuje, że mechaniczne rozdrobnienie ma istotny wpływ na proces fermentacji metanowej.

Słowa kluczowe: biogaz, obróbka wstępna, fermentacja metanowa, ligninoceluloza

WSTĘP

Najważniejszą zaletą prowadzenia procesu fermentacji metanowej w instalacjach biogazowych jest to, iż mogą one pracować na materiałach odpadowych. Zagospodarowanie energetyczne odpadów rozwiązuje uciążliwy problem ich składowania i jednocześnie przynosi korzyści w postaci energii. Do takich materiałów możemy zaliczyć odpady wymienione w rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie katalogu odpadów z dnia 27 września 2001 r. (Dz. U. 2001, nr 112, poz. 1206). Są to m.in.:

- odpady z rolnictwa, sadownictwa, leśnictwa, łowiectwa i rybołówstwa;
- odpady roślinne, w tym odpady z upraw roślin energetycznych;
- odpady zwierzęce i odchody zwierzęce;
- organiczne odpady ulegające biodegradacji z przemysłu spożywczego (roślinne i zwierzęce);
- odpady z przemysłu: skórzanego, futrzarskiego i tekstylnego, z przetwórstwa drewna, produkcji płyt, mebli i masy celulozowej oraz osady z zakładowych oczyszczalni ścieków;

- ulegające biodegradacji frakcje odpadów komunalnych;
- odpady z gospodarstw domowych;
- odpady organiczne z zakładów rzemieślniczych;
- osady ściekowe.

Wstępne przygotowanie biomasy roślinnej

W celu najbardziej efektywnego wykorzystania materiału odpadowego do produkcji biogazu niezbędne jest jego wcześniejsze przygotowanie w procesie obróbki wstępnej (ang. *pretreatment*). Wstępna obróbka substratu dotyczy szczególnie materiałów bogatych w ligninocelulozę, które są trudno rozkładalne przez bakterie metanowe (Lalak i in. 2014).

Obróbka wstępna zwiększa powierzchnię właściwą substratu, co powoduje wzrost szybkości hydrolizy zachodzącej w pierwszym etapie fermentacji, jak również, wzrost szybkość rozkładu biologicznego (Galbe i Zacchi 2012). Przyspieszenie etapu hydrolizy jest ważnym zagadnieniem badawczym ze względu na zwiększenie wydajności produkcji biogazu. Hydroliza stanowi fazę najwolniejszą i najbardziej ograniczającą dalszy postęp procesu fermentacji metanowej. Fakt ten jest ważny szczególnie w przypadku materiałów zawierających wysoki udział związków lignino-celulozowych (Saratale i Oh 2012).

Wzrost szybkości produkcji biogazu prowadzi do znacznego skrócenia czasu fermentacji, co może być powodem opłacalności ekonomicznej podczas całego procesu.

Mechaniczna obróbka biomasy

Obróbkę substratów można prowadzić za pomocą wielu metod, m.in.: fizycznych (mechanicznych), chemicznych lub enzymatycznych (Lalak i in. 2014). Szczególny nacisk kładziony jest na przeanalizowanie wpływu metod wstępnego przygotowania biomasy ligninocelulozowej na stopień degradacji struktur polimerowych oraz produktów ich rozkładu, m.in. glukozy, ksylozy oraz związków fenolowych (Lam i in. 2013).

Najpowszechniej używanymi metodami obróbki wstępnej substratu są metody fizyczne oparte na mechanicznym rozdrobieniu. Wybór sposobu mechanicznego rozdrobienia zależy od rodzaju odpadowej biomasy oraz preferowanej wielkości cząstek (Brodeur i in. 2011). Do rozdrabniania materiałów włóknistych najbardziej odpowiednie są młyny młotkowe, jak również kruszarki udarowe. Dla materiałów miękkich można zastosować rozdrabniarki nożowe (Jędrzak 2007). Używanie metod mechanicznych powoduje degradację struktur polimerowych oraz produktów ich rozkładu, m.in. glukozy, ksylozy oraz związków fenolowych, zwiększenie powierzchni właściwej, rozbitcie cząstek i uwolnienie materii orga-

nicznej do fazy ciekłej (Frigon i in. 2012). Minusem zastosowania tego typu metod jest niska opłacalność ekonomiczna, ponieważ z reguły metody te wymagają włożenia większej ilości energii w porównaniu z energią uzyskaną z bioreaktora, w którym zachodzi proces fermentacji (Carlsson i in. 2012, Mood i in. 2013).

Do fizycznych metod obróbki wstępnej biomasy zaliczamy również proces ekstruzji. Stanowi on wysoce kosztochłonny, a materiał poddany tego typu obróbce jest wysoce przetworzony. Ekstruder należy do urządzeń, w których wykorzystywane jest wysokie ciśnienie (20 MPa) i temperatura (120-200°C). Proces zachodzi przy udziale wody. Stąd też, surowiec uzyskany po takiej obróbce posiada wysoki stopień wymieszania i homogenizacji, co staje się przyczyną spadku barier dyfuzji oraz powoduje pękanie wiązań chemicznych, a następnie wzrost reaktywności składników (Lamsal i in. 2010).

Inną metodą fizycznej obróbki surowca jest zastosowanie promieniowania mikrofalowego, które prowadzi do zniszczenia celulozy poprzez kolizje cząsteczkowe z powodu występowania zjawiska polaryzacji dielektrycznej. Zachodzi tu hydroliza cukrów, częściowe usunięcie ligniny i hemicelulozy.

Kolejną metodą zaliczaną do tej grupy jest obróbka wykorzystująca fale ultradźwiękowe. Ich działanie, przy odpowiednio dobranych parametrach procesu (częstotliwość drgań, amplituda, czas sonifikacji), pozwala skrócić czas trwania procesu fermentacji metanowej dzięki dezintegracji struktur ligninocelulozowych (Bussemaker i Zhang 2013).

Degradacja materii organicznej w warunkach beztlenowych

Fermentacja metanowa jest kilkustopniowym procesem biochemicznym zachodzącym w kontrolowanych warunkach beztlenowych w wyniku działania określonego środowiska bakteryjnego. Proces ten przebiega w czterech głównych etapach: hydroliza, kwasogeneza, octanogeneza, metanogeneza. Gaz fermentacyjny – biogaz jest mieszaniną gazów, których proporcje ulegają znacznym wahaniom. W optymalnych warunkach prowadzenia procesu gaz fermentacyjny zawiera: metan 52-85%, dwutlenek węgla 14-48%, siarkowodór 0,08-5,5%, wodór 0-5,5%, tlenek węgla 0-2,1%, azot 0-7,5% i tlen 0-1%. Skład gazu fermentacyjnego zależy głównie od rodzaju substancji, jakie ulegają rozkładowi w komorze fermentacyjnej. Gaz o największym udziale metanu (najlepszy jakościowo) uzyskuje się w wyniku rozkładu białka, natomiast ilościowo najwięcej gazu uzyskuje się z tłuszczu. Tempo rozkładu zależy od właściwości fizyko-chemicznych i masy surowca, temperatury oraz czasu trwania procesu (Frąc i Ziemiński 2012, Lalak i in. 2014).

Celem pracy było określenie wpływu mechanicznej obróbki wstępnej na ilość i jakość biogazu w procesie fermentacji metanowej.

MATERIAŁ I METODY

Głównymi substratami do procesu fermentacji metanowej były trawy energetyczne: miskant olbrzymi (*Miscanthus giganteus*) i mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea* L), pochodzące ze Stacji Doświadczalnej Osiny, należącej do IUNG-PIB w Puławach (51°28'N, 21°39'E). Jako inokulum zastosowano wsad komory fermentacyjnej pochodzący z biogazowni w Siedliszczkach (woj. lubelskie). Substrat został rozdrobniony mechanicznie z wykorzystaniem młyna laboratoryjnego firmy Retsch. Eksperyment podzielono na 2 serie doświadczalne. Kryterium podziału stanowił stopień rozdrobnienia substratu do procesu fermentacji metanowej:

- frakcja 0,5-3 mm,
- frakcja 4-8 mm.

Obiekt kontrolny stanowiła frakcja nie poddana obróbce mechanicznej o długości 15-20 mm, standardowa dla kiszzonek z traw.

Przed przystąpieniem do procesu fermentacji metanowej substraty zostały poddane analizom fizycznym i chemicznym. Zawartość suchej substancji w analizowanym materiale oznaczano w piecu muflowym metodą grawimetryczną (105°C). Zawartość substancji organicznych, wyrażoną w procentach suchej substancji, obliczono na podstawie oznaczenia pozostałości po prażeniu w temperaturze 550°C. Pomiaru pH dokonano za pomocą pehametru (CyberScan pH 1500, EUTECH Instruments). Zawartość azotu ogólnego, wyrażoną w procentach suchej masy, oznaczono metodą destylacyjną Kjeldahla (Kjeltec System 1026, Tecator, Dania). Zawartość białka ogólnego oznaczono metodą Kjeldahla, stosując współczynnik białkowy 5,83 (Rutkowska 1981). Natomiast zawartość azotu amonowego $\text{NH}_4\text{-N}$ wyrażoną w $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. oznaczono metodą spektrofotometryczną. Zawartość NDF (włókno neutralno-detergentowe) i ADF (włókno kwaśno-detergentowe) oznaczono według analizy sekwencyjnej (Van Soest i in.1991) i procedury ANKOM Technology Corp (Fairport, NY, USA). Procedura ekstrakcji NDF obejmowała zastosowanie alfa-amylazy i siarczku sodu (Hintz i Albrecht 1991, Hintz i in .1996). Zawartość hemicelulozy (HCEL) obliczono z różnicy zawartości NDF i ADF, a celulozy (CEL) z różnicy między ADF i ADL. Cukry ogółem oznaczono metodą Somogyi-Nelsona (Somogyi 1967). Oznaczanie pierwiastków wykonano metodą optycznej spektrometrii emisyjnej z plazmą indukcyjnie sprzężoną (ICP-OES).

Przeprowadzono również badania inokulum. W trakcie badań analizowano parametry istotne z punktu widzenia prowadzenia procesu fermentacji metanowej, a mianowicie: suchą masę i zawartość substancji organicznych.

Po określeniu właściwości fizykochemicznych badanego substratu, przeprowadzono fermentację statyczną mezofilną w bioreaktorach BioStat B Plus (Sartorius Stedim Biotech, Gottingen, Germany) o pojemności 2 dm³. Masa fermentacyjna charakteryzowała się 7% zawartością suchej masy, stosunkiem substratu do

inokulum S/I 1: 1 (w przeliczeniu na s.m.) oraz stosunkiem C/N równym 20. Proporcja ta została ustalona na podstawie wcześniej realizowanych doświadczeń. Proces prowadzono w środowisku obojętnym (pH 7). W czasie trwania doświadczenia raz dziennie dokonywano analizy składu powstającego biogazu z zastosowaniem odbieralników w postaci worków tedlarowych i automatycznego analizatora (GFM 416, GasData). Proces przeprowadzono w trzech powtórzeniach biologicznych do momentu, gdy dzienny uzysk wynosił mniej niż 1% dotychczasowego całkowitego uzysku biogazu (DIN 38414/8, Oslaj i in. 2010). Uzyskane wartości objętości biogazu przeliczono na warunki normalne (1013 hPa, 273 K).

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 zaprezentowano fizyko-chemiczną ocenę wykorzystywanej w doświadczeniach materii organicznej oraz inokulum. Badany materiał charakteryzował się zawartością suchej masy, suchej masy organicznej odpowiednio dla miskanta olbrzymiego i mozgi trzcinowatej 90,62% i 95,3% oraz 92,64% i 93,14%. Badane biomasy wykazują bardzo niską zawartość azotu (poniżej 1,0 % w stanie analitycznym) oraz azotu amonowego (poniżej 1 mg·ml⁻¹ w stanie analitycznym) i ponad 500 g węglowodanów strukturalnych w kg s.m., przy niewielkim udziale lignin. Tak wysoka zawartość celulozy i hemiceluloz jest bardzo korzystna w aspekcie energetycznym, co zauważają także, w przypadku innych gatunków traw Rogalski i in. (2005), Kozłowski i in. (2007), Harkot i in. (2007) oraz Martyniak i in. (2011). Analizowana biomasa cechowała się niską zawartością popiołu surowego odpowiednio dla miskanta olbrzymiego 120,3 g·kg⁻¹ s.m. oraz mozgi trzcinowatej 86,4 g·kg⁻¹ s.m. Jest to bardzo korzystne w przypadku wykorzystywania biomasy na cele energetyczne. Inokulum dla procesu fermentacji metanowej charakteryzowało się zawartością suchej masy 3,89% oraz pH 7,15.

Na podstawie przeprowadzonych badań rozkładu beztlenowego roślin energetycznych mozgi trzcinowatej i miskanta olbrzymiego obliczono wydajności produkcji biogazu i metanu w odniesieniu do: kg świeżej masy (kg ś.m.), kg suchej masy (kg s.m.) oraz kg suchej masy organicznej (kg s.m.o.), które zestawiono w belach 2 i 3. Uzysk biogazu i metanu w procesie fermentacji metanowej mozgi trzcinowatej przedstawia tabela 2. Po poddaniu fermentacji prób poddanych obróbce mechanicznej do frakcji 4-8 mm i wyniósł on 528 N·dm³·kg⁻¹ s.m.o. Podobna sytuacja miała miejsce w przypadku zawartości metanu w biogazie (263 N·dm³·kg⁻¹ s.m.o.) Dla frakcji bardziej rozdrobnionej (0,5-3 mm) nie stwierdzono znacząco większych ilości biogazu w porównaniu do prób kontrolnych. Zawartość biogazu była mniejsza od prób kontrolnych o 30 N·dm³·kg⁻¹ s.m.o., natomiast zawartość metanu w biogazie była większa o 20 N·dm³·kg⁻¹ s.m.o. Analizując wyniki z uzysku biogazu

Tabela 1. Właściwości fizyko-chemiczne miskanta olbrzymiego, mozgi trzcinowatej oraz osadu pofermentacyjnego**Table 1.** Physical and chemical properties of *Miscanthus giganteus*, *Phalaris arundinacea* L and post fermentation sludge

Cecha Feature	Jednostka Unit	Miskant olbrzymi <i>Miscanthus giganteus</i>	Mozga trzcinowata <i>Phalaris arundinacea</i> L.	Osad pofermentacyjny Post fermentation sludge
Sucha masa Dry mass	%	90,62 ±0,2	95,3 ±0,3	3,89±0,2
Sucha masa organiczna Organic dry mass	% s.m. % d.m.	92,64 ±0,3	93,14±0,4	61,12±0,1
pH		5,78±0,1	5,66±0,1	7,15±0,01
Azot Nitrogen	%	0,14±0,2	0,19±0,1	3,16±0,2
Białko Protein	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	125,6 ±3,6	110±2,5	–
Cukry Sugars	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	21,3±0,5	30,1±0,3	–
Celuloza Cellulose	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	293,6±1,5	300,1±1,6	–
Hemicelulozy Hemicellulose	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	240,2±1,3	220,11±2,3	–
Ligniny Lignin	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	29,6±0,7	27,3±1,3	–
ADF	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	317,5±2,1	326,7±1,8	–
NDF	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	558,6±1,8	624,3±2,2	–
Popiół surowy Ash	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	120,3±0,6	86,4±1,6	–
Wapń Calcium	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	7,5±0,3	4,6±0,2	–
Magnez Magnesium	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	30,1±0,1	25,4±0,8	–

Fosfor Phosphorus	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	3,21±0,2	2,62±0,1	–
Potas Potassium	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	30,5±0,3	18,43±1,2	–
Sód Sodium	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	0,37±0,1	0,22±0,01	–
Krzem Silicon	g·kg ⁻¹ s.m. g kg ⁻¹ d.m.	6,59±0,3	9,87±0,6	–
NH ₄ -N	mg·ml ⁻¹	0,045±0,01	0,08±0,01	3,85±0,1

Tabela 2. Uzysk biogazu i metanu w procesie fermentacji metanowej mozgi trzcinowatej
Table 2. Biogas and methane yield in anaerobic digestion process of *Phalaris arundinacea* L.

Badany surowiec Raw material tested	Uzysk biogazu Biogas yield			Uzysk metanu Methane yield		
	N·dm ³ ·kg ⁻¹ s.m. N dm ³ kg ⁻¹ f.m.	N·dm ³ ·kg ⁻¹ s.m. N dm ³ kg ⁻¹ d.m.	N·dm ³ ·kg ⁻¹ s.m.o. N dm ³ kg ⁻¹ o.d.m.	N·dm ³ ·kg ⁻¹ s.m. N dm ³ kg ⁻¹ f.m.	N·dm ³ ·kg ⁻¹ s.m. N dm ³ kg ⁻¹ d.m.	N·dm ³ ·kg ⁻¹ s.m.o. N dm ³ kg ⁻¹ o.d.m.
Kontrola Control	180 ±2	355 ±7	425 ±9	48 ±1,5	195 ±4,3	215 ±3
Fracja Fraction 4-8 mm	255 ±4	411 ±9	528 ±11	61 ±1,1	230 ±5,1	263 ±2,8
Fracja Fraction 0,5-3 mm	150 ±6	389 ±3	487 ±9	55 ±2,1	205 ±3,2	236 ±2

i metanu w nim zawartego z fermentacji miskanta olbrzymiego (tab. 3), można zauważyć znacznie wyższe wartości biogazu i metanu w próbach o frakcji mniejszej, tj. 3-0,5 mm. Podczas gdy ilość biogazu w próbach kontrolnych omawianej frakcji wyniosła 415 N·dm³·kg⁻¹ s.m.o., to po poddaniu prób wstępnej obróbce ilość ta wzrosła do 563 N·dm³·kg⁻¹ s.m.o. Zaobserwowano blisko 40% wzrost produkcji biogazu podczas fermentacji metanowej miskanta olbrzymiego i mozgi trzcinowatej poddanych mechanicznej obróbce wstępnej, w porównaniu do prób kontrolnych. Porównując wyniki badań uzysku biogazu i metanu z rezultatami prac innych auto-

rów, zwłaszcza Menind i Normak (2010) i Mshandete i in (2006), dotyczących siana łąkowego i agawy sizalowej, można zauważyć, że zastosowanie mechanicznego rozdrobnienia przed procesem fermentacji metanowej spowodowało wzrost produkcji biogazu odpowiednio dla siana łąkowego o 10% w przypadku frakcji 0,5 mm w porównaniu do frakcji 20-30 mm oraz agawy sizalowej o 20-25%, w przypadku redukcji długości frakcji siewki ze 100 mm do 2 mm. Pozytywne wyniki w badaniach nad obróbką wstępną biomasy ligninocelulozowej uzyskali również Barakat i in (2014).

Tabela 3. Uzysk biogazu i metanu w procesie fermentacji metanowej miskanta olbrzymiego
Table 3. Biogas and methane yield in anaerobic digestion process of *Miscanthus giganteus*

Badany surowiec Raw material tested	Uzysk biogazu Biogas yield				Uzysk metanu Methane yield	
	$N \cdot dm^3 \cdot kg^{-1} \cdot s.m.$ $N \cdot dm^3 \cdot kg^{-1} \cdot f.m.$	$N \cdot dm^3 \cdot kg^{-1} \cdot s.m.$ $N \cdot dm^3 \cdot kg^{-1} \cdot d.m.$	$N \cdot dm^3 \cdot kg^{-1} \cdot s.m.o.$ $N \cdot dm^3 \cdot kg^{-1} \cdot o.d.m.$	$N \cdot dm^3 \cdot kg^{-1} \cdot s.m.$ $N \cdot dm^3 \cdot kg^{-1} \cdot f.m.$	$N \cdot dm^3 \cdot kg^{-1} \cdot s.m.$ $N \cdot dm^3 \cdot kg^{-1} \cdot d.m.$	$N \cdot dm^3 \cdot kg^{-1} \cdot s.m.o.$ $N \cdot dm^3 \cdot kg^{-1} \cdot o.d.m.$
Kontrola Control	195 ±1	365 ±5	415 ±5	45 ±1,1	186 ±3,2	205 ±2,7
Frakcja Fraction 4-8 mm	246 ±8	400 ±4	523 ±10	57 ±0,7	215 ±3,1	248 ±3,3
Frakcja Fraction 0,5-3 mm	305 ±4	455 ±,8	563 ±12	65 ±2,6	250 ±2,7	278 ±2,4

W tabeli 4 przedstawiono uśredniony skład uzyskanego biogazu. Zawartość metanu w próbach z miskanta olbrzymiego wynosiła 54%, z prób mozgi trzcinowatej nieznacznie mniej, tj. 52%. Zawartość dwutlenku węgla w obu próbach również była zbliżona, tj. 26% w przypadku prób z miskanta olbrzymiego i 23% w biogazie uzyskanego z fermentacji prób z mozgi trzcinowatej.

Właściwości fizyko-chemiczne osadu pofermentacyjnego rozkładu beztlenowego miskanta oraz mozgi trzcinowatej przedstawiono w tabeli 5. Zawartość suchej masy w osadzie pofermentacyjnym, powstałym po procesie fermentacji metanowej badanej biomasy była niższa w porównaniu do prób kontrolnych. Sucha masa osadu pofermentacyjnego wyniosła odpowiednio dla prób z miskanta olbrzymiego 3,66% w przypadku frakcji 3-0,5 mm oraz mozgi trzcinowatej 4,26% w przypadku redukcji długości frakcji siewki do 4-8 mm.

Tabela 4. Uśredniony skład biogazu (%)
Table 4. Average of biogas components (%)

Badany surowiec – Raw material tested	Skład biogazu – Biogas composition		
	CH ₄	CO ₂	O ₂
Miskant olbrzymi <i>Miscanthus giganteus</i>	54 ±1,4	26 ±1,5	1 ±0,1
Mozga trzcinowata <i>Phalaris arundinacea</i> L.	52 ±2,3	23 ±1,4	1 ±0,1

Tabela 5. Właściwości fizyko-chemiczne osadu pofermentacyjnego po fermentacji metanowej miskanta oraz mozgi trzcinowatej

Table 5. Physical and chemical properties of post fermentation sludge after anaerobic digestion process of *Miscanthus giganteus* and *Phalaris arundinacea* L.

Badany surowiec Raw material tested	Miskant olbrzymi <i>Miscanthus giganteus</i>			Mozga trzcinowata <i>Phalaris arundinacea</i> L.		
	pH	s.m. d.m. %	s.m.o. o.d.m. % s.m. % d.m.	pH	s.m. d.m. %	s.m.o. o.d.m. % s.m. % d.m.
Kontrola Control	7,12 ±0,1	4,15 ±0,7	65,5 ±0,2	7,36 ±0,7	4,56 ±0,8	66,3 ±0,3
Frakcja 4-8 mm Fraction 4-8 mm	7,13 ±0,1	4,14 ±0,3	61,3 ±0,3	7,05 ±0,3	4,26 ±0,6	58,3 ±0,7
Frakcja 3-0,5 mm Fraction 3-0,5 mm	7,20 ±0,3	3,66 ±0,6	56,13 ±0,1	7,26 ±0,5	4,45 ±0,2	62,3 ±1,0

WNIOSKI

1. Na podstawie wykonanych badań nad procesem gazyfikacji biomasy z miskanta olbrzymiego i mozgi trzcinowatej wnioskować można, iż mechaniczne rozdrobnienie znacznie wpływa na polepszenie procesu fermentacji metanowej. Badany materiał po zastosowaniu wstępnej obróbki mechanicznej, charakteryzował się zwiększoną ilością oraz lepszą jakością biogazu.

2. Przeprowadzone badania potwierdzają, iż zastosowanie mechanicznej obróbki wstępnej może stać się korzystną metodą pozwalającą na udoskonalenie procesu wytwarzania biogazu.

PIŚMIENNICTWO

- Barakat A., Chuetor S., Monlau F., Solhy A., Rouau X., 2014. Eco-friendly dry chemo-mechanical pretreatments of lignocellulosic biomass: Impact on energy and yield of the enzymatic hydrolysis. *Applied Energy*, 113, 97-105.
- Brodeur G., Yau E., Badal K., Collier J., Ramachandran K.B., Subramanian Ramakrishnan, 2011. Chemical and Physicochemical Pretreatment of Lignocellulosic Biomass: A Review. *Enzyme Research*, 2011, 17.
- Bussemaker M.J., Zhang D., 2013. Effect of Ultrasound on Lignocellulosic Biomass as a Pretreatment for Biorefinery and Biofuel Applications. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 52(10), 3563-3580.
- Carlsson M., Lagerkvist A., Morgan-Sagastume F., 2012. The effect of substrate pretreatment on anaerobic digestion systems: A review, *Waste Management*, 32, 1634-1650.
- Climont M., Ferrer I., Baeza M.D., Artola A., Vazquez F., Font X., 2007. Effects of thermal and mechanical pretreatments of secondary sludge on biogas production under thermophilic conditions. *Chemical Engineering Journal*, 133, 335-342.
- DIN 38414/8 1985: Niemiecka standardowa metoda badania wody, ścieków, szlamu i osadów.
- Dz. U. z 2001, nr 112, poz. 1206. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów, (cz. 2).
- Fraç M., Ziemiński K., 2012. Methane fermentation process for utilization of organic waste. *Int. Agrophysics*, 26, 317-330.
- Frigon J.C., Mehta P., Guiot S.R., 2012. Impact of mechanical, chemical and enzymatic pretreatments on the methane yield from the anaerobic digestion of switchgrass. *Biomass and Bioenergy*, 36, 1-11.
- Galbe M., Zacchi G., 2012. Pretreatment: The key to efficient utilization of lignocellulosic materials. *Biomass and Bioenergy*, 46, 70-78.
- Harkot W., Warda M., Sawicki J., Lipińska H., Wylupek H., Czanecki Z., Kulik M. 2007. Możliwości wykorzystania runi łąkowej do celów energetycznych. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 59-67.
- Hintz R. W., Albrecht K.A., 1991. Prediction of alfalfa chemical composition from maturity and plant morphology. *Crop Sci.*, 31, 1561-1565.
- Hintz R.W., Mertens D.R., Albrecht K.A., 1996. Sodium sulfite effects on recovery and composition of detergent fiber and lignin. *AOAC International*, 79, 16-22.
- In Wook N., Yun W.K., Kyung Y.H., Woongki K.S., 1999. Mechanical pretreatment of waste activated sludge for anaerobic digestion process. *Water Res.*, 34(8), 2362-2368.
- Jędrzak A., 2007. Biologiczne przetwarzanie odpadów, Warszawa, PWN.
- Kozłowski S., Zielewicz W., Lutyński A. 2007. Określenie wartości energetycznej *Sorghum saccharum*, *Zea mays* i *Malva verticillata*. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 131-140.
- Lalak J., Kasprzycka A., Murat A., Paprota E. M., Tys J., 2014. Obróbka wstępna biomasy bogatej w lignocelulozę w celu zwiększenia wydajności fermentacji metanowej. *Acta Agrophysica*, 21(1), 51-62.
- Lam P.L., Lam P.Y., Sokhansanj S., Lim X.T. Bi C.J., 2013. Mechanical and compositional characteristics of steam-treated Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* L.) during pelletization. *Biomass and Bioenergy*, 56, 116-126.

- Lamsal B., Yoo J., Brijwani K., Alavi S., 2010. Extrusion as a thermo-mechanical pre-treatment for lignocellulosic ethanol. *Biomass and Bioenergy*, 34, Issue 12, 1703-1710.
- Martyniak D., Fabisiak E., Zielewicz W., Martyniak J., 2011. Biologiczno-chemiczne właściwości perzu wydłużonego (*Agropyron elongatum* (Host, Beauv.) w aspekcie możliwości jego wykorzystania w fitoenergetyce. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 260/261, 375-384.
- Menind A., Normak A., 2010. Study on grinding biomass as pretreatment for biogasification. *The International Scientific Conference, Biosystems Engineering 2010*, 13-24. May 2010, Tartu, Estonia., 155-164.
- Mshandete A., Björnsson L., Kivaisi A.K., Rubindamayugi M.S.T., Mattiasson B., 2006. Effect of particle size on biogas yield from sisal fibre waste. *Renewable Energy*, 31, 2385-2392.
- Mood S.H., Golfeshan A., H., Tabatabaei M., Jouzani G.S., Najafi G.H., Gholami M., Ardjmand M., 2013. Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pre-treatment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 77-93.
- Oslaj M., Mursec B., Vindis P., 2010. Biogas production from maize hybrids. *Biomass and bioenergy*, 34, 1538-1545.
- Rogalski M., Sawicki B., Bajonko M., Wieczorek A. 2005. Wykorzystanie rodzimych gatunków traw jako odnawialnych źródeł energii. W: *Alternatywne źródła energii. Dobrodrojeństwa i zagrożenia* (red.: M. Ciaciura) Szczecin-Wisłka.
- Rutkowska U., 1981. Wybrane metody badań składu i wartości odżywczej żywności. PZWL, Warszawa.
- Saratale G.D, Oh S.E., 2012. Lignocellulosics to ethanol: The future of the chemical and energy industry. *African Journal of Biotechnology*, 11 (5), 1002-1013.
- Somogyi M., 1967. Notes on sugar determination. *Journal of Biology and Chemistry* 195, 19-23.
- Tedesco S., Marrero Barroso T., Olabi A.G., 2014. Optimization of mechanical pre-treatment of Laminariaceae spp. biomass-derived biogas. *Renewable Energy*, 62, 527-534.
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74, 3583-3597.

IMPACT OF FRAGMENTATION ON BIOGAS PRODUCTION FROM PLANT BIOMASS

Agnieszka Kasprzycka, Justyna Lalak, Jerzy Tys

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: j.lalak@ipan.lublin.pl

Abstract. Pre-treatment of raw materials is a necessary procedure to improve biogas production in anaerobic process. The aim of this study was to determine the effect of mechanical pre-treatment on the quantity and quality of biogas of methane fermentation process. The experimental material consisted of energy grasses: *Miscanthus giganteus* and *Phalaris arundinacea* L., of two different ranges of chaff length: 0.5-3 mm and 4-8 mm. The success of the experiment indicates that mechanical fragmentation has a significant positive effect on the anaerobic digestion process.

Keywords: biogas, pre-treatment, methane fermentation, lignocellulose