

dr inż. Wojciech CZEKAŁA¹, Piotr SZEWCZYK², Agnieszka KWIATKOWSKA³
Kamil KOZŁOWSKI¹, dr inż. Damian JANCZAK¹

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Instytut Inżynierii Biosystemów
e-mail: wojciech@up.poznan.pl

² Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych „Orli Staw”
Dyrektor ZUOK, Orli Staw 2, 62-834 Ceków
e-mail: pszewczyk@orlistaw.pl

³ MORA POLSKA Sp. z o.o.,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Studenckie Koło Naukowe Ekoenergetyki

PRODUKCJA BIOGAZU Z ODPADÓW KOMUNALNYCH

Streszczenie

Proces fermentacji metanowej jest jednym ze sposobów biologicznego zagospodarowania wybranych frakcji odpadów komunalnych. Zastosowanie w/w odpadów do produkcji biogazu w warunkach kontrolowanych pozwala na ograniczenie kosztów transportu i składowania. W niniejszej pracy przedstawiono informacje dotyczące pochodzenia i właściwości odpadów komunalnych pod kątem ich wykorzystania w procesie fermentacji metanowej. Zawarto również informacje dotyczące potencjału energetycznego wraz z podaniem możliwości zagospodarowania powstającego biogazu.

Słowa kluczowe: biogaz, odpady komunalne, biopaliwa

Wstęp

Każdego roku człowiek produkuje znaczne ilości odpadów komunalnych. Ma to miejsce przede wszystkim w krajach rozwiniętych oraz rozwijających się. Specyficzną frakcją w strumieniu całych odpadów są tzw. odpady komunalne. Według Ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. pod pojęciem odpadów komunalnych rozumiemy „odpady powstające w gospodarstwach domowych, z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych; zmieszane odpady komunalne pozostają zmieszane z odpadami komunalnymi, nawet jeżeli zostały poddane czynności przetwarzania odpadów, która nie zmieniła w sposób znaczący ich właściwości” [25].

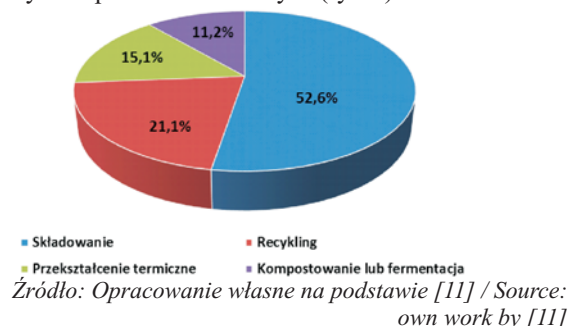
Odpady komunalne, zawierają w swoim składzie materię organiczną oraz mają charakterystyczne właściwości, dzięki którym mogą być pożytecznie unieszkodliwione, lub wręcz poddane procesowi odzysku [1]. Według obowiązującej ustawy o odpadach, omawianą grupę można poddać odzyskowi R3 (recykling lub regeneracja substancji organicznych), które nie są stosowane jako rozpuszczalniki (włączając kompostowanie i inne biologiczne procesy przekształcania). Takie działanie pozwala przede wszystkim zredukować liczbę odpadów trafiających na składowiska odpadów komunalnych, co wiąże się z ograniczeniem wysokich kosztów transportu oraz samego składowania [26]. Ponadto, według wymogów prawa unijnego i krajowego wszelkie działania w gospodarce odpadami powinny być tak realizowane, aby składowanie ograniczyć do minimum [9]. Mając na uwadze coraz bardziej rygorystyczne wymagania z zakresu gospodarki odpadami komunalnymi poszukuje się alternatywnych rozwiązań składowania. Wśród nich wymienić można kompostowanie [2, 4], biogazowanie [3, 15] oraz przekształcanie termiczne [27].

Pochodzenie i właściwości odpadów komunalnych

Odpady komunalne wytwarzane są przede wszystkim w gospodarstwach domowych, chociaż nie jest to jedyne miejsce ich powstawania [5]. Ten rodzaj odpadów generowany jest

również w wielu innych miejscach, takich jak: targowiska, zielenie miejska czy obiekty użyteczności publicznej.

Według danych statystycznych w Polsce w 2015 roku ilość wytworzonych odpadów komunalnych wyniosła ok. 10,3 mln Mg. Oznacza to, że na jednego mieszkańca kraju przypadało średnio ok. 268 kg/rok i jest to o 25 kg mniej niż w 2014 roku [11]. Pod względem produkcji odpadów komunalnych na jednego mieszkańca Polska zajmuje jedno z ostatnich miejsc w Europie. Dominującym, pod tym względem krajem jest Dania, gdzie przeciętny obywatel produkuje ok. 747 kg odpadów/rok. O ile ilość produkowanych odpadów na jednego obywatela w Polsce jest niska, to sposób ich zagospodarowania nie jest już tak korzystny. Spośród wszystkich metod przetwarzania odpadów komunalnych w Polsce dominuje przetwarzanie w instalacjach mechaniczno-biologicznych, a następnie ich składowanie. Ten końcowy sposób unieszkodliwiania odpadów, jako najniżej postawiony w hierarchii postępowania z odpadami [9] powinien być ostatecznością, jednak w 2014 r. składowaniu poddano około 53% całości wytworzonych odpadów komunalnych (rys. 1).



Rys. 1. Sposoby zagospodarowania odpadów komunalnych w Polsce w 2014 r.

Fig. 1. Waste management options in Poland in 2014

Z danych przedstawionych na rys. 1 wynika, że jedynie 11,2% wytworzonych odpadów komunalnych zagospodarowano na drodze biologicznego przetwarzania. Należy mieć na uwadze, że z grupy tych odpadów do kompostowania oraz fermentacji metanowej nadaje się tylko ich część. Wyróżnić można trzy zasadnicze frakcje odpadów pozwalające na

produkcję biogazu, a w dalszej kolejności energii elektrycznej i ciepłej. Są to: resztki organiczne pochodzenia roślinnego, zwierzęcego oraz inne pozostałości organiczne.

O tym czy dane pozostałości mogą być przydatne do fermentacji metanowej decydują ich wybrane właściwości. Najważniejszą, a zarazem stwarzającą najwięcej problemów cechą charakteryzującą ten rodzaj odpadów jest zróżnicowanie ich składu oraz ilości. Dotyczy to zarówno czasu (wielolecie, rok, pora roku), jak i miejsca powstawania (wieś, miasto). Z tego względu niezbędne jest wydzielenie z całego strumienia odpadów komunalnych tych, które będą mogły zostać wykorzystane. Jest to o tyle kłopotliwe, że w ustawodawstwie krajowym nie ma jeszcze nakazu dokonywania segregacji u źródła tego rodzaju odpadów. Mimo to są już w Polsce miejsca gdzie są one zbierane selektywnie. Nakaz taki wprowadzają zapisy projektu nowego KPGO [14]. Ma to uzasadnienie środowiskowe i ekonomiczne. Jest to element założeń gospodarki o obiegu zamkniętym (*circular economy*). W rzeczywistości jednak niewiele osób wie, że opłacalnym jest wydzielenie pozostałości biodegradowalnych, które stanowią czasem nawet 45% produkowanych przez ludzi odpadów.

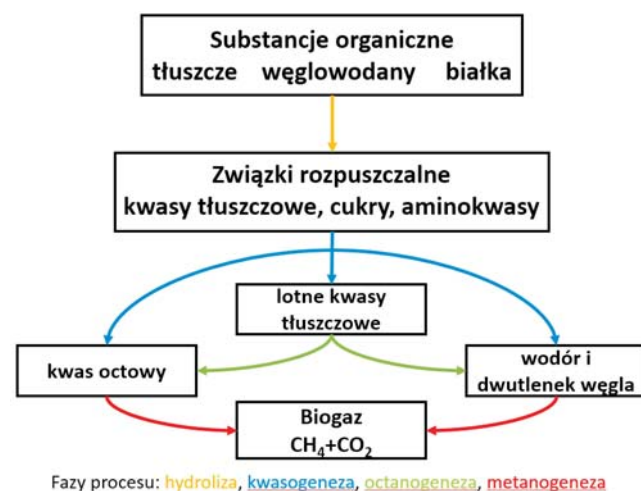
Wyróżnia się dwie metody wydzielenia bioodpadów: selektywna zbiórka w miejscu powstawania i mechaniczna segregacja w specjalnie przystosowanych do tego instalacjach. Każdy z systemów ma zalety i wady, jednak niezależnie od wyboru opłaca się ekonomicznie korzystać z dowolnego systemu, niż nie korzystać z żadnego. Najprostszą z form dającą wysokiej jakości surowiec jest segregacja odpadów w miejscu ich powstawania. Dzięki temu znaczna ich część może zostać bezpośrednio poddana recyklingowi lub odzyskowi. Jednak problemem dla wielu ludzi, w warunkach polskich, jest konieczność posiadania w gospodarstwie domowym kilku różnych pojemników dla poszczególnych grup odpadów. Kosztowne jest także selektywne zbieranie i transport tej dodatkowej frakcji.

Drugą równie istotną cechą odpadów komunalnych jest ich stan sanitarny. Odpady te w większości przypadków zbierane są w systemie workowym. Pozostałości te są niestabilne, przez co podatne na niekontrolowany rozkład. Problem ten jest ważny, ponieważ dotyczy tej części odpadów, które mogą zostać poddane fermentacji metanowej czyli biodegradowalnych. Dekompozycja w niekontrolowanych warunkach powoduje przede wszystkim powstawanie uciążliwych zapachów oraz rozwój wielu patogenów, wśród których najliczniejszą grupę tworzą bakterie. Sam proces fermentacji, w przypadku gdy jest prawidłowo prowadzony pozwoli w dużym stopniu poprzez hermetyzację procesu zredukować emisję odorów. Jest to możliwe dzięki temu, że jest on całkowicie kontrolowany, a nieprzyjemna woń, którą tworzą niektóre związki chemiczne nie przenika poza komorę fermentacyjną. Odmienna sytuacja jest w przypadku stanu sanitarnego odpadów. Wszelkie przemiany biologiczne zachodzą dzięki mikroorganizmom, wśród których są i takie, które stanowią zagrożenie dla człowieka. Część z nich jest szkodliwa, a ich wpływ ujawnia się przy negatywnym oddziaływaniu na przebieg procesu oraz roznoszeniu chorób. Substraty w trakcie rozkładu ulegają częściowemu unieszkodliwieniu, jednak do pełnej ich neutralizacji w niektórych biogazowniach nie dochodzi. Spowodowane jest to najczęściej zróżnicowaną, zbyt niską temperaturą prowadzonego procesu. Alternatywą dla tego problemu może być kompostowanie odwodnionego pofermentu powstającego w procesie technologicznym. Po osiągnięciu maksymalnych temperatur w fazie termofilnej, sięgających często ponad 80°C większość patogenów ginie, a pozostałość pofermentacyjna zamienia się w stabilny materiał.

Przebieg procesu fermentacji metanowej

Pierwsze przemysłowe instalacje wykorzystujące odpady i osady ściekowe w procesach beztlenowych powstawały w Europie w XIX wieku. W chwili obecnej biogaz na całym świecie uzyskuje się w biogazowniach funkcjonujących przy oczyszczalniach ścieków, z odgazowania składowisk odpadów komunalnych oraz w biogazowniach rolniczych lub odpadowych. W instalacjach odgazowania umiejscowionych na składowiskach odpadów, mimo kontaktu wierzchnich warstw z powietrzem atmosferycznym - niesprzyjającym procesowi fermentacji metanowej - w niższych partiach dochodzi do przemian beztlenowych, których końcowym produktem jest biogaz zwany też gazem wysypiskowym. Niezależnie od tego czy fermentacja ma miejsce w reaktorze w warunkach kontrolowanych, czy na składowisku odpadów, dominującym produktem jest metan, będący wysokoenergetycznym nośnikiem energii. Z tego względu niekontrolowane przemiany zachodzące na wysypiskach były powodem niekontrolowanych emisji, a w ślad za tym zakładania aktywnych instalacji odgazowujących, jak też specjalistycznych komór fermentacyjnych w biogazowniach, służących do celowej produkcji biogazu. W chwili obecnej w Polsce wzrasta zainteresowanie biogazowniami rolniczymi, wykorzystujących takie substraty, jak gnojowica, biomasa rolnicza oraz odpady z przemysłu rolno-spożywczego. Należy przypuszczać, że rosnącą popularnością będą się cieszyły również biogazownie pozwalające unieszkodliwić niektóre stałe odpady komunalne zasobne w materię organiczną.

Fermentacja metanowa jest typowym procesem przemian biochemicznych zachodzącym pod wpływem mikroorganizmów. W jej skład wchodzi 4 odrębne fazy, a w każdej z nich powstają specyficzne produkty końcowe. I tak w wyniku przemian zachodzących w trakcie ostatniej z faz (metanogenezy) powstaje biogaz, którego głównymi składnikami są metan (około 60%) oraz ditlenek węgla (około 39% produkcji). Pozostałe gazy stanowią przede wszystkim siarkowodór, amoniak, azot i wodór. Nie mają one jednak znaczenia od strony energetycznej procesu, gdyż ich łączna ilość nie przekracza zazwyczaj 1% całkowitej produkcji. Niemniej gazy te mogą być inhibitorami procesu (amoniak, siarkowodór). Schematyczny przebieg procesów zachodzących w trakcie rozkładu beztlenowego przedstawiono na rys. 2.



Fazy procesu: **hydroliza**, **kwasogeneza**, **octanogeneza**, **metanogeneza**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [17] / Source: own work by [17]

Rys. 2. Rozkład materii organicznej w warunkach beztlenowych z uwzględnieniem produktów przemian
Fig. 2. Organic matter decomposition in anaerobic conditions including the products of bioconversion processes

Produkcja energii z odpadów komunalnych

Wydajność energetyczna procesu fermentacji metanowej zależy przede wszystkim od rodzaju wykorzystanego substratu oraz zawartości suchej masy i suchej masy organicznej wsadu w komorach fermentacyjnych. Na podstawie danych literaturowych oraz przeprowadzonych do chwili obecnej badań wynika, że wydajność biogazowa poszczególnych odpadów komunalnych zbieranych selektywnie oraz odpadów komunalnych zmieszanych może wynosić od 100 do nawet 500 m³/Mg suchej masy organicznej. Substraty te charakteryzują się szerokim zakresem suchej masy w przedziale od 30 do 60% oraz suchej masy organicznej w przedziale 25-75%. Duża rozbieżność zawartości suchej masy i suchej masy organicznej, a co za tym idzie także wydajności biogazowej i metanowej wynika przede wszystkim ze zróżnicowanego składu morfologicznego wsadu, jakim są zmieszane lub nawet selektywnie zbierane odpady komunalne. Ponadto różnice w składzie i ilości odpadów zależą od charakteru jednostki administracyjnej, w której są produkowane, jej wielkości, pełnionych funkcji społecznych i gospodarczych oraz standardu życia mieszkańców [23]. W trakcie prowadzenia doświadczeń fermentacji metanowej w skali laboratoryjnej niejednorodność oraz zróżnicowanie odpadu utrudnia pobranie reprezentatywnych prób do przeprowadzenia badań. Należy również dodać, że odpady komunalne przed wykorzystaniem w procesie fermentacji metanowej powinny zostać dokładnie oczyszczone z zanieczyszczeń (np. piasek, kamienie, szkło), które wpływają na obniżenie wydajności biogazowej z Mg substratu oraz mogą powodować nieprawidłowe funkcjonowanie całej instalacji. Obciążają one mechanicznie instalację przyspieszając jej zużycie, a nie zwiększając produkcji biogazu. Duże znaczenie ma tutaj techniczne przygotowanie wsadu do fermentacji poprzez wydzielenie elementów inertnych i szkodliwych dla procesu fermentacji.

W przypadku odpadów komunalnych zbieranych selektywnie największy potencjał energetyczny wykazują odpady kuchenne oraz pozostałości tłuszczów. Z danych literaturowych wynika, że oba substraty charakteryzują się wydajnością biogazową wynoszącą ok. 700 m³/Mg suchej masy organicznej oraz procentową zawartością metanu w biogazie na poziomie ok. 60% (dla odpadów kuchennych) i 60-72% (dla odpadów tłuszczowych) [13]. Innym przykładem odpadów komunalnych zbieranych selektywnie są odpady zielone dla których uzysk biogazu mieści się w przedziale od 200 do 500 m³/Mg s.m.o. i zawartości metanu od 55 do 65% w zależności od rodzaju materiału wsadowego.

W Europie od początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku obserwuje się wzrost wykorzystania odpadów komunalnych do produkcji biogazu. Instalacje o największej wydajności przetwarzania odpadów powstały w Niemczech, Hiszpanii, Holandii, Szwajcarii, Francji, Belgii oraz Szwecji [7]. Obecnie istnieje wiele rozwiązań technologicznych fermentacji odpadów komunalnych różniących się między sobą przede wszystkim parametrami prowadzenia procesu. Jednym z nich jest zawartość suchej masy substratu. Ze względu na ten parametr rozróżnia się dwa rodzaje fermentacji: mokrą (zawartość suchej masy < 15%) oraz suchą (15% < zawartość suchej masy < 40%). Kolejnym parametrem jest temperatura prowadzenia procesu. Fermentacja odpadów komunalnych może odbywać się w warunkach psychrofilowych (ok. 25°C), mezofilowych (32-42°C) oraz termofilowych (50-57°C) [12]. Bardzo duże znaczenie w procesie fermentacji ma także tryb napełniania reaktorów. Może się on odbywać w sposób ciągły lub okresowy. W przypadku pracy okresowej materiał wsadowy dodawany jest jednorazowo na określony czas fermenta-

cji. Po zakończonym procesie poferment jest odprowadzany z reaktora, a w jego miejsce wprowadzany jest nowy materiał wsadowy. W przypadku projektowania instalacji produkujących biogaz wyróżnia się liczbę etapów procesu technologicznego. Najczęstsze zastosowanie znajdują jedno- lub dwuetapowe metody produkcji. W instalacjach jednoetapowych wszystkie etapy procesu fermentacji metanowej zachodzą w jednym reaktorze. W przypadku biogazowni wykorzystujących technologie dwustopniowe pierwsze dwa etapy fermentacji metanowej (hydroliza oraz kwasogeneza) zostają rozdzielone od pozostałych dwóch (octanogenezy oraz metanogenezy). Do najbardziej rozpowszechnionych przykładów technologii fermentacji „mokrych” odpadów komunalnych należą instalacje WASSA, EcoTec, BTA oraz TBW-Biocomp. Natomiast do komercyjnych przykładów fermentacji „suchej” należą instalacje DRANCO, Kompogas i Valorga, które opracowane zostały w latach osiemdziesiątych XX w. W Polsce wdrożona została technologia BTA w Zakładzie Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych w Puławach, gdzie odpady komunalne wykorzystywane są w procesie „mokrej” fermentacji metanowej wraz z osadami ściekowymi [8, 18]. Przed wykorzystaniem odpadów komunalnych w procesie fermentacji należy możliwie dokładnie określić ich potencjał produkcji biogazu w skali roku poprzez przeprowadzenie laboratoryjnych badań fermentacji metanowej. Analizy takie wykonywane są także w polskich laboratoriach biogazowych. Jednym z nich jest Pracownia Ekotechnologii działająca przy Instytucie Inżynierii Biosystemów Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, która zajmuje się określaniem wydajności biogazowej substratów oraz ich przetwarzaniem na drodze kompostowania.

Często rozkładowi biologicznemu w kontrolowanych, beztlenowych warunkach poddaje się zmieszane odpady komunalne posegregowane na poszczególne frakcje. W tym przypadku ich wydajność metanowa jest bardzo zróżnicowana, co w głównej mierze wynika z dużych domieszek zanieczyszczeń mineralnych. Jak podają badania światowe [6, 20] zawartość metanu zazwyczaj kształtuje się na poziomie około 60% i nie odbiega od innych typowych substratów wykorzystywanych w biogazowniach. Badania prowadzone we Włoszech również dowiodły, że fermentacja organicznej frakcji zmieszanych odpadów komunalnych pozwala na ich zagospodarowanie, przynosząc jednocześnie korzyści ekonomiczne [19]. Podobną opinię mówiącą o ekologicznych i ekonomicznych zaletach podali naukowcy ze Szwecji na podstawie przeprowadzonych badań [21]. Jak podają [10] pozostałość po procesie fermentacji jest cennym nawozem do stosowania w rolnictwie, co z pewnością stanowi kolejną zaletę. Można więc stwierdzić, że wykorzystanie odpadów komunalnych w biogazowni jest pewną alternatywą dla instalacji odgazowujących składowiska [22].

W Polsce w ostatnim okresie oddane zostały do eksploatacji pierwsze instalacje fermentacji pracujące w oparciu o wydzieloną z odpadów zmieszanych frakcję drobną zawierającą duże ilości materii biologicznej. Instalacje takie pracują od niedawna w:

1. MZO Leszno sp. z o.o. - ZZO w Trzebanii,
2. Master Odpady i Energia sp. z o.o. Tychy,
3. Zakład Gospodarowania Odpadami sp. z o.o. - Gać,
4. Białskie Wodociągi i Kanalizacja „Wod-Kan” sp. z o.o. - Biała Podlaska,
5. Miejski Zakład Komunalny sp. z o.o. - Stalowa Wola,
6. Zakład Gospodarki Odpadami sp. z o.o. - Jarocin (w trakcie rozruchu).

Pomimo różnych zastosowanych technologii fermentacji różnych parametrów prowadzenia procesu przygotowanie

wsadu jest podobne. Z wydzielonej na sicie bogatej w biopadpady frakcji 0-60 mm wydziela się na sicie batutowym frakcję drobną (popioły i piaski), a następnie na separatorze balistycznym frakcję inertyną (ceramikę i szkło). Tak przygotowany wsad trafia do zbiornika buforowego skąd jest podawany do fermentera [24]. Popioły z palenisk domowych, które powodują wzrost zasarczenia biogazu winny być bezwzględnie wyeliminowane z wsadu. Jedynie wdrożenie ich selektywnego zbierania [14] definitywnie rozwiąże ten problem. Odwodniony pofermentat poddawany jest procesowi stabilizacji tlenowej, a następnie kierowany do składowania na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne. Może on zostać także wykorzystany do rekultywacji zamykanych składowisk.

Biogaz wyprodukowany z odpadów komunalnych może być wykorzystany do produkcji energii elektrycznej i ciepła w jednostkach kogeneracyjnych o sprawności elektrycznej ok. 40% oraz sprawności cieplnej ok. 45%. W tym przypadku energia elektryczna i ciepło mogą być wykorzystywane, poza potrzebami własnymi instalacji, do zasilania budynków pomieszczeń znajdujących się na terenie zakładu lub okolicznych budynków mieszkalnych bez konieczności rozbudowy sieci przesyłowych. Innym rozwiązaniem wykorzystania wyprodukowanego w procesie fermentacji biogazu jest jego wtłoczenie do sieci gazowniczej. W tym przypadku konieczne jest głębokie oczyszczenie gazu z siarkowodoru, amoniaku oraz ditlenku węgla. Warunki i parametry biogazu wtłaczanego do sieci gazowniczej ustalane są przez operatora systemu dystrybucyjnego. Trzecim sposobem zagospodarowania gazu wysypiskowego jest jego zastosowanie jako paliwa napędowe w pojazdach wykorzystywanych do transportu odpadów komunalnych. Rozwiązanie to wymaga również oczyszczenia biogazu do zawartości metanu powyżej 90%. Ponadto pozwala ograniczyć emisję substancji szkodliwych ze względu na całkowite spalanie biometanu.

Podsumowanie

Proces fermentacji niesie ze sobą wiele korzyści, wśród których należy wymienić przede wszystkim ograniczenie powstającego w Polsce składowania odpadów komunalnych. Rozwiązanie to pozwoli ograniczyć emisję szkodliwych produktów do środowiska. Umożliwia to jednoczesną ochronę powietrza, gleby, a także wód gruntowych oraz powierzchniowych. Wśród wad wykorzystania odpadów komunalnych w procesie fermentacji wymienić należy przede wszystkim wysokie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Sporym wyzwaniem jest również organizacja i prowadzenie selektywnej zbiórki odpadów nadających się do fermentacji. Do osiągnięcia tego celu niezbędne jest przede wszystkim stałe podnoszenie świadomości ekologicznej społeczeństwa oraz odpowiednie zachęty ekonomiczne promujące tego rodzaju działania. Ze względu na niejednorodność materiału, jakim są odpady komunalne, należy także przeprowadzać systematyczne analizy wydajności produkcji biogazu, umożliwiające określenie możliwie dokładnego potencjału energetycznego odpadów. Pomimo konieczności spełnienia wielu wymogów, zastosowanie technologii pozwalających na produkcję metanu z odpadów komunalnych jest możliwe, o czym świadczy równomierny i intensywny wzrost liczby takich instalacji w wielu krajach Europy (np. Niemczech, Hiszpanii i Szwajcarii) obserwowany od lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Pierwsze tego typu instalacje zostały także uruchomione także w Polsce. Dodatkowo wykorzystanie biogazu jako nośnika energii może przynieść wymierne efekty ekonomiczne oraz ekologiczne.

Bibliografia

- [1] Czekala W., Lewicki A., Janczak D.: Problemy zasad klasyfikacji odpadów organicznych. *Przegląd Prawa Ochrony Środowiska*, 2008, 3, 117-128.
- [2] Czekala W., Malińska K., Cáceres R., Janczak D., Dach J., Lewicki A.: Co-composting of poultry manure mixtures amended with biochar - The effect of biochar on temperature and C-CO₂ emission. *Bioresource Technology*, 2016, 200, 921-927.
- [3] Czekala W., Pilarski K., Dach J., Janczak D., Szymańska M.: Analiza możliwości zagospodarowania pofermentu z biogazowni. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2012, 4, 13-15.
- [4] Czekala W., Witaszek K., Rodriguez Carmona P. C., Grzelak M.: Instalacje do przemysłowego kompostowania biopadpów. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2013, 2, 23-25.
- [5] d'Obyrn K., Szalińska E.: Odpady komunalne: zbiórka, recykling, unieszkodliwianie odpadów komunalnych i komunalnopodobnych. *Politechnika Krakowska*, 2005.
- [6] Dahiya S., Joseph J.: High rate biomethanation technology for solid waste management and rapid biogas production: An emphasis on reactor design parameters. *Bioresource Technology*, 2015, 188, 73-78.
- [7] De Baere L., Mattheeuws B.: Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste in Europe - Status, experience and prospects. <http://www.ows.be> (dostęp: marzec 2016).
- [8] De Baere L., Mattheeuws B.: State of the art 2008 - Anaerobic digestion of solid waste. *Waste Management World*, 2008, 9, 4.
- [9] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy.
- [10] Elango D., Pulikesi M., Baskaralingam P., Ramamurthi V., Sivanesan S.: Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 141, 301-304.
- [11] Główny Urząd Statystyczny, *Ochrona środowiska*, 2015.
- [12] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: *Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren*, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001.
- [13] Kozłowski K., Jas M., Czekala W., Cieślak M., Witaszek K., Smurzyńska A.: Restauracyjne odpady kuchenne jako substrat do produkcji biogazu. *Współczesne Problemy Ochrony Środowiska*, 2015.
- [14] Krajowy Plan Gospodarki Odpadami - projekt z dnia 9 marca 2016, 94, 100-103, 110.
- [15] Lewicki A., Dach J., Janczak D., Czekala W., Rodriguez Carmona P. C.: Dynamic of methane fermentation process and retention time for different agricultural substrates. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2013, Vol. 59(2), 98-102.
- [16] Mauky E., Jacobi H.F., Liebetrau J., Nelles M.: Flexible biogas production for demand-driven energy supply - Feeding strategies and types of substrates. *Bioresource Technology*, 2015, Vol. 178, 262-269.
- [17] Miyamoto K.: *Renewable biological systems for alternative sustainable energy production* (FAO Agricultural Services Bulletin - 128), 1997. ISBN/ISSN: 9789251040591.
- [18] Piskowska-Wasiak J.: Pozyskiwanie i uzdatnianie biogazu z kontrolowanej fermentacji biodegradowalnej frakcji odpadów komunalnych. *Nafta Gaz*, 2015, LXXI, 7, 510-519.
- [19] Pognani M., D'Imporzano G., Scaglia B., Adani F.: Substituting energy crops with organic fraction of municipal solid waste for biogas production at farm level: A full-scale plant study. *Process Biochemistry*, 2009, 44, 817-821.
- [20] Qian M.Y., Li R.H., Li J., Wedwitschka H., Nelles M., Stinner W., Zhou H.J.: Industrial scale garage-type dry fermentation of municipal solid waste to biogas. *Bioresource Technology*, 2016.
- [21] Rajendran K., Kankanala H.R., Martinsson R., Taherzadeh M.J.: Uncertainty over techno-economic potentials of biogas from municipal solid waste (MSW): A case study on an industrial process. *Applied Energy*, 2014, 125, 84-92.
- [22] Rey M.D., Font R., Aracil I.: Biogas from MSW landfill: Composition and determination of chlorine content with the AOX (adsorbable organically bound halogens) technique. *Energy*, 2013, 63, 161-167.

- [23] Sieja L.: Charakterystyka odpadów komunalnych na podstawie badań w wybranych miastach Polski. Ochrona powietrza i problemy odpadów, 2006, 1, 28-33.
- [24] Seruga P., Sobolak A.: Efektywna instalacja fermentacji metanowej. Przegląd Komunalny, 2016, 4, 49-51.
- [25] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach Dz.U. 2013 poz. 21.
- [26] Wiśniewska-Kadżajan B., Jankowski K., Kaczorek A.:

- Zarządzanie odpadami komunalnymi w świetle ustaw na różnych szczeblach władz. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie, 2013, 97, 13-21.
- [27] Zarzycki R., Wielgoński G.: Podstawy technologiczne spalania odpadów komunalnych a normy emisji zanieczyszczeń. Ochrona środowiska, 1999, 1(72), 29-32.

BIOGAS PRODUCTION FROM MUNICIPAL SOLID WASTE

Summary

The process of anaerobic digestion is one of the methods for biological management of selected fractions municipal waste. The application of these types of waste for biogas production in controlled conditions allows reduction of transportation and landfilling costs. This work/study/paper presents the information on the source and properties of municipal waste in view to the potential application for anaerobic digestion. It also contains the information about energy efficiency, and possibilities of the biogas conversion to energy.

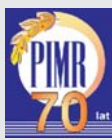
Key words: biogas, municipal solid waste, biofuels



www.minrol.gov.pl



www.umw.edu.pl



www.pimr.poznan.pl



www.arr.gov.pl



www.ptir.org



www.apra.pl/rpt

Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu

oraz

Departament Rolnictwa i Rozwoju Wsi Urzędu Marszałkowskiego Województwa Wielkopolskiego,
Oddział Poznański Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej

organizują

XVIII Konferencję Naukową n.t.

"Rolnictwo ekologiczne - stan obecny i perspektywy rozwoju"

<<TECHNIKI, TECHNOLOGIE, PRODUKCJA ŻYWNOŚCI>>

Celem konferencji jest prezentacja wyników badań naukowych, prowadzonych przez krajowe i zagraniczne ośrodki naukowe, dotyczących rolnictwa ekologicznego i ekologizacji rolnictwa oraz transfer wiedzy do praktyki.

Głównymi problemami naukowymi konferencji będą: techniczne aspekty produkcji roślinnej i zwierzęcej, aspekty uprawy roli i roślin oraz pielęgnacji upraw w gospodarstwach ekologicznych, ochrona roślin w rolnictwie ekologicznym, alternatywne metody zwalczania chorób i szkodników roślin uprawnych, produkcja żywności ekologicznej i marketing produktów ekologicznych, ekologizacja rolnictwa, stosowanie naturalnych technologii i wyrobów w produkcji rolniczej.

Patronat honorowym: Krzysztof Jurgiel - Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi,
Marek Woźniak - Marszałek Województwa Wielkopolskiego,
Łukasz Hołubowski - Prezes Agencji Rynku Rolnego.

Patronat naukowy: Komitet Inżynierii Rolniczej przy Polskim Towarzystwie Inżynierii Rolniczej.

Patronat medialny: Rolniczy Przegląd Techniczny.

Konferencja odbędzie się w dniach od 5 - 7 października 2016 r. w Leśnym Ośrodku Szkoleniowym w Puszczykowie.
Bliższych informacji udziela dr hab. inż. Zbyszek Zbytek, prof. nadzw. (tel. 618712218, e-mail: zbytek@pimr.poznan.pl).