

NAUKI INŻYNIERSKIE I TECHNOLOGIE

1

Redaktor naukowy

Elżbieta Kociołek-Balawejder



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2009

Spis treści

Wstęp	7
Michał Grzebyk, Waldemar Podgórski , Recent developments in L(+)-lactic acid biotechnology	11
Franciszek Kapusta , Przemysł mięsny w Polsce – wybrane problemy.....	21
Franciszek Kapusta , Włókiennictwo i produkcja włókien naturalnych w Polsce	34
Aleksandra Kmiećkowiak, Tomasz Lesiów , Systemy zarządzania jakością i ich integracja w przemyśle żywnościowym – praca przeglądowa	47
Aleksandra Kmiećkowiak, Tomasz Lesiów , Trudności związane z funkcjonowaniem systemu HACCP i sposoby ich przewyżczenia w wybranym zakładzie piekarniczym	72
Łukasz Waligóra, Tomasz Lesiów , Aspekty technologiczne a funkcjonowanie systemu HACCP w wybranym przedsiębiorstwie przemysłu mięsnego	101
Ludmiła Bogacz-Radomska, Jerzy Jan Pietkiewicz , Przegląd metod otrzymywania aromatów stosowanych do aromatyzowania żywności	124
Katarzyna Górską, Jerzy Jan Pietkiewicz , Funkcje technologiczne i charakterystyka kwasów dodawanych do żywności	141
Joanna Harasym , Gryka jako źródło substancji organicznych i związków mineralnych	159
Andrzej Krakowiak , Rozkład beztlenowy jako proces mineralizacji odpadów organicznych i odzyskania energii w postaci biogazu	170
Hanna Pińkowska, Paweł Wolak , Badanie składu chemicznego odpadowej biomasy rzepakowej jako surowca do przetworzenia w warunkach hydrotermalnych na użyteczne bioprodukty chemiczne. Część 1. Klasyczne metody analizy.....	184
Hanna Pińkowska, Paweł Wolak , Badanie składu chemicznego odpadowej biomasy rzepakowej jako surowca do przetworzenia w warunkach hydrotermalnych na użyteczne bioprodukty chemiczne. Część 2. Analiza z wykorzystaniem wybranych metod instrumentalnych	196
Elżbieta Kociolek-Balawejder, Łukasz J. Wilk , Nadchlorany – nowe mikrozanieczyszczenie środowiska naturalnego	216
Elżbieta Kociolek-Balawejder, Adrianna Złocińska , Środki odstrasżające owady (<i>insect repellents</i>) w ochronie ludzi	230
Elżbieta Kociolek-Balawejder, Marta K. Żebrowska , Brzoza – kierunki wykorzystania biomasy	252

Summaries

Michał Grzebyk, Waldemar Podgórski , Najnowszy rozwój w biotechnologii kwasu L(+)-mlekowego.....	20
Franciszek Kapusta , Meat industry in Poland – selected problems	33
Franciszek Kapusta , Textile industry and production of natural fibres in Poland	46
Aleksandra Kmiećkowiak, Tomasz Lesiów , Quality management systems and their integration in food industry – the review.....	70
Aleksandra Kmiećkowiak, Tomasz Lesiów , Difficulties of system HACCP functioning and overcoming difficulties in a chosen bakery plant	100
Łukasz Waligóra, Tomasz Lesiów , Technological Aspects and functioning of HACCP system in chosen meat industry company	123
Ludmiła Bogacz-Radomska, Jerzy Jan Pietkiewicz , Review of the aromas' production methods applied in food aromatization	139
Katarzyna Górńska, Jerzy Jan Pietkiewicz , Technological functions and characteristic of food acids	158
Joanna Harasym , Buckwheat as the source of organic compounds and minerals.....	169
Andrzej Krakowiak , Anaerobic digestion as a process for mineralization of organic wastes and energy recovery in the form of biogas.....	183
Hanna Pińkowska, Paweł Wolak , The investigation of chemical composition of waste rapeseed biomass as a raw material for synthesis of useful chemical bioproducts under hydrothermal conditions. Part 1. Classical analytical methods	195
Hanna Pińkowska, Paweł Wolak , The investigation of chemical composition of waste rapeseed biomass as a raw material for synthesis of useful chemical bioproducts under hydrothermal conditions. Part 2. Application of instrumental methods of analysis	214
Elżbieta Kociolek-Balawejder, Łukasz J. Wilk , Perchlorate – the new micropollutant of the environment.....	229
Elżbieta Kociolek-Balawejder, Adrianna Złocińska , Insect repellents as the most effective protection of human against insect bites	251
Elżbieta Kociolek-Balawejder, Marta K. Żebrowska , Birch tree biomass – the ways of its practical applications	265

Andrzej Krakowiak*

Katedra Biotechnologii Żywności, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

ROZKŁAD BEZTLENOWY JAKO PROCES MINERALIZACJI ODPADÓW ORGANICZNYCH I ODZYSKANIA ENERGII W POSTACI BIOGAZU

Streszczenie: Beztlenowy rozkład odpadów organicznych wywołuje wzrastające zainteresowanie jako sposób produkowania energii i zmniejszania problemów związanych z usunięciem odpadów organicznych. Rozkład beztlenowy jest złożonym procesem, w którym surowce organiczne poddawane są serii transformacji mikrobiologicznych. Proces prowadzi do całkowitej mineralizacji odpadów organicznych i wytwarzania biogazu zawierającego głównie metan i ditlenek węgla. Biogaz może zostać wykorzystany jako nośnik energii do wytwarzania elektryczności i ciepła. Pozostałość po beztlenowej biodegradacji może zostać użyta jako wysokiej jakości nawóz i modyfikator gleby. W literaturze istnieje wiele doniesień dotyczących beztlenowego rozkładu różnego rodzaju odpadów z przetwórstwa żywności, takich jak odpady po tłoczeniu oleju palmowego, ścieki z tłoczni oliwy, ścieki z przetwórstwa soi, stałe odpady z przetwórstwa ziemniaka czy serwatka. W celu osiągnięcia szybkiego i wydajnego rozkładu beztlenowego stosowane są różne typy reaktorów. Należą do nich między innymi kolumnowe bioreaktory przepływowe z okresowym lub ciągłym zasilaniem, bioreaktory z aktywnym złożem zawierającym unieruchomione drobnoustroje.

W niektórych krajach Europy proces beztlenowego rozkładu jest bardzo intensywnie rozwijany. Wiele biogazowni wykorzystujących ten proces do wytwarzania metanu zużywa odchody zwierząt domowych i drobiu, ścieki z rzeźni i odpady żywnościowe. Beztlenowy rozkład jest przeprowadzany w reaktorach wykonanych ze stali nierdzewnej i z betonu. Ich pojemność waha się od 2000 do 3000 m³. Reaktory są zaopatrzone w mieszałki i systemy wymiany ciepła. Obecnie Niemcy, Szwecja, Dania i Holandia to państwa o największym zaawansowaniu prac nad wykorzystaniem tej technologii. W tych krajach funkcjonuje już wiele biogazowni i również dużo znajduje się w trakcie budowy. Polska jest dopiero na początku tej drogi.

Słowa kluczowe: biodegradacja, biogaz, biomasa, metan.

1. Wstęp

Praktyczne wykorzystanie jednego z naturalnych procesów biologicznych zachodzących w przyrodzie, jakim jest beztlenowy rozkład związków organicznych, w wyniku którego następuje wytworzenie energii w postaci biogazu, nabiera w świecie od

* Adres e-mail: andrzej.krakowiak@ue.wroc.pl.

pewnego czasu coraz większego znaczenia gospodarczego. Wiąże się to z występowaniem narastających napięć w światowym bilansie energetycznym. Napięcia te są z kolei spowodowane szybko rosnącymi cenami obecnie wykorzystywanej energii pochodzącej głównie z paliw kopalnych, tj. z ropy naftowej i gazu ziemnego. Związkami organicznymi najczęściej stanowiącymi źródło skażenia środowiska, a które w omawianym procesie ulegają mineralizacji, dając jednocześnie produkt przyjazny ekologicznie – energię w postaci biogazu, wysokiej jakości nawóz naturalny i produkty uszlachetniające glebę, są odpady z gospodarstw rolnych, z ubojni zwierząt, przetwórstwa zwierzęcego i roślinnego. Te odpady wytwarzane w gospodarkach światowych w olbrzymich ilościach, a niepoddane rozkładowi, stanowią poważne zagrożenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego.

Następstwem rozkładu beztlenowego jest głęboka biodegradacja związków organicznych, powstający palny gaz – metan, może być zaś użyty jako źródło energii w tym procesie. Nie jest więc konieczne wprowadzenie energii z zewnątrz. Tradycyjne (obecnie jeszcze w większości stosowane) procesy biodegradacji związków organicznych prowadzone w warunkach tlenowych wymagają stałego dostarczania energii z innych źródeł, są więc procesami znacznie bardziej kosztownymi [1].

Zalety procesu polegającego na beztlenowym rozkładzie związków organicznych spowodowały, że liczne kraje na świecie już od wielu lat prowadzą wielokierunkową działalność zarówno w zakresie opracowywania całkowicie nowych przepisów prawno-finansowych umożliwiających upowszechnienie tej metody od strony praktycznej, jak i intensywne prace badawczo-wdrożeniowe od strony naukowej. W Polsce ze względów ekonomicznych, ekologicznych i energetycznych, a także ze względu na zobowiązania wobec Unii Europejskiej i wspólne unijne ustalenia problematyka wprowadzania alternatywnych źródeł energii, w tym też biogazu, staje się przedmiotem poważnych rozważań służb rządowych odpowiedzialnych za ten dział gospodarki narodowej.

Proces beztlenowego rozkładu substancji organicznej (fermentacja metanowa) przebiegający przy udziale bakterii metanowych znany jest już od dawna. Zachodzi on często spontanicznie, w sposób niekontrolowany, w warunkach naturalnych, na składowiskach i wysypiskach śmieci komunalnych oraz w pokładach osadów ściekowych, a wytworzony metan wydostaje się bezproduktywnie do atmosfery, powodując jej zanieczyszczenie (nieprzyjemne zapachy gazów i związków towarzyszących powstających w procesie fermentacji metanowej, zagrożenia dla ludzi objawiające się wybuchami i pożarami).

W Polsce istnieją znaczne możliwości produkcji biogazu w oparciu na olbrzymich zasobach dotychczas nie w pełni zagospodarowanych organicznych produktów odpadowych pochodzących z farm zwierząt hodowlanych, ferm drobiowych, ubojni zwierząt, produkcji rolniczej, przetwórstwa spożywczego. Już obecnie w związku z podjęciem produkcji komponentów biopaliw przeznaczonych do silników diesla (estry oleju rzepakowego) na rynku do zagospodarowania znajdują się, oprócz już istniejących milionów ton słomy różnych zbóż, dodatkowo około 2 mln ton słomy

rzepakowej i znaczne ilości pozbawionych oleju, wyciżonych nasion rzepaku stanowiących odpad produkcyjny. Ilość odpadów rzepakowych w postaci słomy i wyciżyn będzie się powiększać w następnych latach w miarę zwiększania produkcji biopaliw. Odpad rzepakowy już od zaraz może więc zostać zagospodarowany jako jeden z komponentów biomasy przeznaczonej do otrzymywania biogazu w procesie beztlenowego rozkładu odpadów organicznych. Innym potencjałem, który praktycznie nie jest wykorzystany, są setki tysięcy hektarów ziem uprawnych leżących bezproduktywnie (będących w zasobach Agencji Własności Rolnej Skarbu Państwa), mogących w każdej chwili wrócić do zagospodarowania i stać się źródłem surowca do otrzymywania biomasy przeznaczonej do wytwarzania biogazu [2-4].

Celem tego opracowania jest przedstawienie – na podstawie najnowszego krajowego i światowego piśmiennictwa – stopnia zaawansowania prac w świecie i w Polsce w zakresie wykorzystania procesu beztlenowego rozkładu związków organicznych jako metody pozyskiwania alternatywnego źródła energii – biogazu, z jednoczesnym unieszkodliwianiem ścieków organicznych pochodzących z przetwórstwa spożywczego, odpadów działalności rolniczej oraz otrzymywaniem wysokiej jakości nawozu naturalnego i związków uszlachetniających glebę.

2. Charakterystyka biogazu

Termin „biogaz” jako pierwszy wprowadził W. Noack w 1955 roku [3]. Nazwą tą określił gaz powstający wyłącznie w wyniku beztlenowego rozkładu odchodów zwierząt hodowlanych i odpadów z działalności rolniczej. W późniejszym okresie określenie „biogaz” zostało rozszerzone na produkt otrzymywany podczas beztlenowego rozkładu związków organicznych stanowiących mięsne i roślinne odpady z przemysłu spożywczego i odpady z ubojni zwierząt.

Termin „rozkład beztlenowy” został zdefiniowany jako przemiana biologiczna złożonych związków organicznych do form prostych dalej już niepodlegających biodegradacji z wytworzeniem biogazu jako ostatniego produktu w łańcuchu przemian biochemicznych. Powstały biogaz składa się głównie z metanu i z ditlenku węgla. Materiałem, który poddawany jest procesowi rozkładu beztlenowego, jest biomasa. Przez pojęcie „biomasa” rozumie się wszelką substancję organiczną pochodzenia zarówno roślinnego, jak i zwierzęcego. Należą do niej więc słoma zbóż, niewykorzystane resztki roślin uprawnych, ziarna zbóż, ziarna kukurydzy, liście, trawa, odpady z ubojni zwierząt i z ubojni drobiu, odchody z farm bydła i trzody chlewnej, odchody z ferm drobiu, odpady poprodukcyjne przetwórstwa spożywczego roślinnego i zwierzęcego, resztki żywności z gospodarstw domowych, restauracji i hoteli [1; 4; 5-7].

Proces rozkładu beztlenowego związków organicznych przebiega w kilku etapach. W pierwszym etapie złożone związki organiczne, takie jak polisacharydy, białka i tłuszcze, ulegają rozkładowi z wytworzeniem pośrednich produktów, między innymi cukrów prostych, aminokwasów i kwasów tłuszczowych. Te pośrednie

produkty są następnie degradowane do pochodnych lotnych kwasów tłuszczowych (głównie octanów, propionianów, maślanów, izomaślanów, mleczanów, mrówczanów, kapronianów, walerianianów, izowalerianianów). W ostatnim etapie w procesie metanogenezy lotne kwasy tłuszczowe ulegają przemianom z udziałem bakterii metanowych głównie do metanu i ditlenku węgla [8-9].

Biogaz otrzymany w wyniku beztlenowego rozkładu biomasy, oprócz metanu i ditlenku węgla, zawiera w mniejszych ilościach inne gazy. W biogazie występuje od 55 do 70% obj. metanu, od 30 do 40% obj. ditlenku węgla, od 1 do 2% obj. azotu, od 1000 do 3000 ppm siarkowodoru, od 10 do 30 ppm amoniaku. Powstają również nieznaczne ilości wodoru. W optymalnych warunkach prowadzenia bioprocessu zawartość metanu w biogazie może dochodzić nawet do 80% obj. Biogaz o wysokiej zawartości metanu otrzymuje się w wyniku beztlenowego rozkładu białek, nieco mniej metanu powstaje podczas beztlenowego rozkładu tłuszczów, najmniej zaś – z rozkładu sacharydów. Wynika stąd, że na procentową zawartość głównego składnika biogazu, tj. metanu, ma wpływ przede wszystkim rodzaj użytej biomasy i proporcje między różnymi składnikami organicznymi tworzącymi tę biomasę. Na przykład biomasa, taka jak słoma, trawa, liście itp., pomimo że zawiera dużo składników sacharydowych, jest zbyt ubogim substratem do otrzymania biogazu o wysokim stężeniu metanu i powinna być bezwzględnie wzbogacona np. w odpady poubojowe, odpady przetwórstwa mięsnego, odchody zwierząt gospodarskich czy odchody pochodzące z ferm drobiu [3; 5; 10-11].

Wszystkie składniki wchodzące w skład biomasy powinny być maksymalnie rozdrobnione, ponieważ wielkość cząsteczek ma wpływ na przebieg fermentacji metanowej. Duże znaczenie mają też temperatura procesu, zwykle od 30 do 40°C, odczyn środowiska fermentacyjnego wynoszący około 7,0, potencjał oksydacyjno-redukcyjny, który powinien być niski – rzędu 250 mV lub jeszcze niższy. Potencjał ten jest tworzony przez pary: metan i ditlenek węgla oraz proton H^+ i wodór H_2 . Wzrasta on gwałtownie w przypadku dostępu powietrza do biomasy poddawanej fermentacji, co powoduje natychmiastowe zahamowanie wzrostu bakterii metanowych. Ważnym parametrem określającym jakość uzyskanego biogazu jako pełnowartościowego nośnika energetycznego jest jego wartość opałowa. Wartość opałowa decyduje więc o praktycznym zastosowaniu biogazu. W przypadku zawartości np. 60% obj. metanu w biogazie jego wartość opałowa wynosi około 20 MJ/m³, co już go kwalifikuje do wykorzystania energetycznego [1; 3; 6; 8; 12-15]. Wartość opałową różnych nośników energii przedstawiono w tab. 1.

Oprócz określenia „biogaz” znane są również określenia „gaz wysypiskowy” i „gaz ściekowy”. Głównym składnikiem obu gazów jest również metan oraz w mniejszych ilościach kilkadziesiąt innych składników lotnych, w tym wiele z nich szkodliwych dla środowiska naturalnego. Gaz wysypiskowy powstaje na wysypiskach śmieci komunalnych zawierających zarówno składniki organiczne, jak i rozmaite składniki nieorganiczne. Jego wytwarzanie następuje wówczas, gdy w masie wysypiska spontanicznie zaistnieją optymalne warunki do rozwoju bakterii metano-

wych. Zawartość metanu w gazie pochodzącym z wysypisk wynosi od 45 do 65% obj., ditlenku węgla zaś – od 25 do 35% obj., azotu – od 10 do 20% obj. Zawiera on także znacznie mniejsze ilości innych domieszek gazowych, między innymi siarkowodór, chloroetan, dichlorofluorometan, trichlorofluorometan, chlorotrifluorometan, chlor, fluor. Z wymienionych składników gazu wysypiskowego jedynie metan ma znaczenie energetyczne.

Tabela 1. Wartość opałowa biogazu i innych nośników energii

Lp.	Surowiec	Wartość opałowa (MJ/m ³)	Wartość opałowa (kcal/m ³)
1	Biogaz	20-25	5 150
2	Gaz miejski	19-20	4 000
3	Propan (gazowy)	93	11 000
4	Benzyna	–	10 400
5	Węgiel kamienny	38-39	6 500-7 800
6	Drewno	14-19	3 500
7	Prąd elektryczny	–	850 (kcal/kWh)

Źródło: [3].

Gaz ściekowy natomiast powstaje w osadach ściekowych zawierających również składniki organiczne i nieorganiczne, a jego skład jakościowy i ilościowy jest zbliżony do gazu wysypiskowego [16]. Oba te gazy, ponieważ są otrzymywane w mieszaninie związków organicznych i nieorganicznych, a nie powstają wyłącznie z biomasy organicznej, nie są przedmiotem tego opracowania.

3. Beztlenowy rozkład odpadów przetwórstwa spożywczego jako źródło biogazu

W przemyśle spożywczym gospodarek światowych od pewnego czasu zaczęto poszukiwać sposobów obniżenia gwałtownie rosnących kosztów oczyszczania ścieków poprodukcyjnych pochodzenia organicznego. Dotychczas stosowane metody ich tlenowego rozkładu jako procesu energochłonnego ze względu na, jak wspomniano, rosnące ceny energii w świecie stają się coraz mniej konkurencyjne. Zwrócono więc uwagę na proces beztlenowy. Prowadzi on do głębokiego rozkładu związków organicznych i jednocześnie wyzwala energię w formie biogazu, który może być praktycznie wykorzystany w obsłudze danego procesu technologicznego. Użycie metanu w biogazie jako źródła energii polega na wytwarzaniu energii elektrycznej i wytwarzaniu ciepła grzewczego pomieszczeń i ciepłej wody. Energia elektryczna generowana jest w wyniku spalania biogazu w silnikach spalinowych i oddawana jest do sieci energetycznej. W wyniku realizowanego na dwa sposoby odzysku ciepła z pracy silników spalinowych powstają energia cieplna w postaci ciepłej wody

oraz ciepło odzyskane z wysokotemperaturowych spalin, które może służyć do produkcji pary technologicznej [17-18].

W światowym piśmiennictwie podaje się wiele wyników prac badawczych oceniających przydatność beztlenowego rozkładu związków organicznych w odniesieniu do konkretnych odpadów ściekowych pochodzących z przemysłu spożywczego. Przykładem tych badań może być unieszkodliwianie składników serwatki otrzymanej w produkcji sera [19-20], rozkład ścieków zawierających skrobię [21], biodegradacja poprodukcyjnych odpadów przetwórstwa ziemniaków [12; 22-23] i przetwórstwa manioku [24-25], unieszkodliwianie poprodukcyjnych odpadów z produkcji wina ryżowego [26] i wina otrzymanego z winogron [27], z biodegradacji słomy rzepakowej, ryżowej i pozostałości po łuskaniu fasoli [28], unieszkodliwiania poprodukcyjnych odpadów powstałych w czasie produkcji oleju z oliwek [1; 29-33] i podczas otrzymywania oleju palmowego [34-35], ścieków powstałych po przerobieniu cebuli [14], uzyskiwanych podczas przerobu soi [36] i podczas produkcji sosu sojowego [37], ścieków powstających przy produkcji cukru [38], żelatyny [39] i herbaty rozpuszczalnej [40], ścieków z ubojni zwierząt [6; 41] oraz unieszkodliwianie odpadów powstałych przy produkcji piwa [42-44].

Podstawowym kryterium określającym przydatność beztlenowej metody biodegradacji związków organicznych we wszystkich prowadzonych pracach było oznaczenie stopnia obciążenia ścieków wyrażane w BZT₅ i ChZT oraz zawartości metanu w powstałym biogazie. Niezależnie od tych przyjętych za podstawowe analiz wykonywano liczne oznaczenia charakterystyczne dla konkretnego związku organicznego w kolejnych stadiach jego biodegradacji. Ilość powstającego metanu i innych gazów oznaczano metodą chromatografii gazowej.

Na przykład podczas prowadzenia procesu oczyszczania ścieków zawierających serwatkę BZT₅ obniżało się o 99,0%, ChZT – o 98,2%, a powstały biogaz zawierał ponad 70% metanu [20]. W przypadku beztlenowego rozkładu odpadów poprodukcyjnych przy otrzymywaniu oleju palmowego ChZT obniżało się o 97,0%, zaś w biogazie stwierdzano od 62 do 82% metanu [34]. Beztlenowy rozkład odpadów poprodukcyjnych powstałych w przetwórstwie manioku pozwolił obniżyć obciążenie ścieku wyrażone jako ChZT o 87%, metan w uzyskanym biogazie stanowił zaś od 69 do 81% [24]. W przypadku beztlenowego rozkładu zanieczyszczeń powstałych przy otrzymywaniu oleju z oliwek ChZT zmniejszyło się o 83,0%, a wytworzony biogaz zawierał od 68 do 75% metanu [1]. Na podstawie uzyskanych wyników analiz chemicznych ścieków poprodukcyjnych wykonywanych przed rozpoczęciem fermentacji metanowej, podczas jej trwania i po jej zakończeniu autorzy publikacji stwierdzali duży stopień ich mineralizacji i wysoką zawartość metanu w wytworzonym biogazie.

Doświadczenia nad biodegradacją beztlenową poprodukcyjnych odpadów ściekowych autorzy prowadzili w różnych rodzajach bioreaktorów, najczęściej w szklanych lub wykonanych z pleksiglasu i w większości w skali laboratoryjnej. Pod względem konstrukcyjnym i zasady ich działania stosowane przez nich reaktory

można podzielić ogólnie na dwie grupy. Pierwsza grupa to bioreaktory kolumnowe ustawione pionowo. Stosunek długości do szerokości kolumny wynosił jak 6:1, 5:1, 21:1. Wnętrze kolumny wypełnione było w około 90% złożem aktywnym. Tworzyły go kształtki o porowatej strukturze wykonane z tworzyw sztucznych, z ceramiki lub pianki poliuretanowej o średnicy od 1 do 6 cm. Porowate kształtki na całej swej powierzchni były obficie porośnięte bakteriami metanowymi. Ze zbiornika magazynowego wprowadzano w dolnej części kolumny odciek poprodukcyjny, który przesuwał się z określoną prędkością do jej szczytu i wydostawał się na zewnątrz. W górnej części kolumny osobnym kanałem odprowadzano przez licznik gazowy wytworzony biogaz i gromadzono go w odrębnym zbiorniku. Bioreaktor ten mógł pracować na zasadzie okresowego lub ciągłego dopływu surowca, a także z okresową recyrkulacją, która była formą mieszania zawartości reaktora. Mógł on również stanowić jedno pracujące urządzenie lub też być połączony z analogicznymi, tworząc baterię bioreaktorów. Podczas przepływu odcieku poprodukcyjnego przez aktywne złożo następował rozkład związków organicznych. Tego typu bioreaktory cytowani autorzy stosowali wówczas, gdy odciek poprodukcyjny miał postać zawiesiny o niezbyt wysokiej gęstości. Zbyt gęsty substrat stwarzał bowiem niebezpieczeństwo zatkania kolumny, a więc zmniejszenia lub nawet zahamowania przepływu [26-27; 29; 33-34; 39].

Pewną modyfikacją większości bioreaktorów kolumnowych ustawionych pionowo było urządzenie, które pracowało w układzie poziomym. Był to zbiornik o długości 54 cm, szerokości wynoszącej 12 cm i wysokości 20 cm. Aktywnym złożem wewnątrz bioreaktora były rurki bambusowe o średnicy kilku centymetrów ułożone warstwami wzdłuż reaktora. Rurki te wewnątrz i na zewnątrz porastały bakterie metanowe, tworząc również aktywny biofilm. Przy takiej konstrukcji bioreaktora można było wprowadzać odcieki poprodukcyjne zawierające większych rozmiarów części stałe. Bioreaktor mógł również pracować jako pojedyncze urządzenie lub w układzie kilku, tworząc zestaw baterii [24].

Druga grupa bioreaktorów to urządzenia w formie zbiornika. Stosowane były, gdy odpady poprodukcyjne poddawane biodegradacji występowały w postaci gęstej półstałej zawiesiny. Materiał poddawany fermentacji metanowej wprowadzany był w dolnej części reaktora i wypełniał wnętrze zbiornika. Po określonym czasie procesu w górnej części bioreaktora następował odbiór produktu i osobnym przewodem odprowadzano powstały biogaz. Ważnym zabiegiem procesowym było prowadzenie okresowej recyrkulacji zawartości bioreaktora, której celem było ułatwienie odgazowania, tj. odprowadzenie biogazu z fermentującej biomasy oraz zapobieganie powstawaniu osadu. Jego gromadzenie się na dnie zbiornika było zjawiskiem niekorzystnym z punktu widzenia wydajności procesu biodegradacji [12; 22; 37; 41; 45-46].

Ciekawym przykładem rozwiązania konstruktorskiego było połączenie bioreaktora zbiornikowego z systemem filtrującym. W górnej części bioreaktora następował odbiór jego zawartości i był on kierowany do mikrofiltracji. Tutaj następowało

rozdzielenie na klarowną ciecz i części stałe. Ciecz odprowadzono poza układ fermentacyjny, natomiast zagęszczone części stałe ponownie wracały do bioreaktora i podlegały dalszej biodegradacji [20].

4. Beztlenowy rozkład odpadów z działalności rolniczej jako źródło biogazu

Dla biogazowni typowo rolniczej, a więc zlokalizowanej na wsi przy gospodarstwie rolnym, materiałem odpadowym stanowiącym biomasę, która może być przeznaczona do fermentacji metanowej, są odchody bydła, trzody chlewnej i drobiu, maksymalnie rozdrobniona słoma zbóż i rzepaku, łodygi, kolby i liście kukurydzy, kiszonka kukurydzy, ziarno zbóż, odpady warzyw i owoców, trawy, liście drzew, a nawet resztki żywności. Ten materiał zgromadzony w zbiorniku przygotowawczym jest doprowadzany (przy ciągłym mieszaniu) do konsystencji półpłynnej zawiesiny z jednoczesną regulacją odczynu pH. W celu wyeliminowania szkodliwej mikroflory pochodzącej głównie z odchodów zwierząt gospodarskich i drobiu jest poddawany pasteryzacji, a następnie przetłaczany do fermentora.

Bioreaktory, w których prowadzona jest fermentacja, a także zbiorniki operacyjne współpracujące z fermentorem najczęściej są wykonane ze stali kwasoodpornej lub z betonu. Proces fermentacji, w zależności od rodzaju biomasy, trwa od 25 do 35 dni, przebiega w temperaturze od 35 do 40°C i jest prowadzony jako powtarzany proces okresowy. Polega on na wprowadzaniu w określonych odstępach czasowych nowej porcji biomasy do fermentora przy uprzednim odbiorze już częściowo przefermentowanego produktu do drugiego zbiornika, w którym następuje dokończenie fermentacji. Bioreaktory fermentacyjne są wyposażone w mieszadła, które pracują w układzie ciągłym lub okresowym i w ten sposób nie dopuszczają do powstawania osadu na dnie fermentora. Ogrzewanie lub jego chłodzenie następuje przez system rur zainstalowanych wewnątrz bioreaktora. Powstały biogaz jest odbierany w górnej części fermentora i przez licznik gazowy oraz układ biofiltrów przedostaje się do zbiornika magazynowego. Biofiltry odbierają z biogazu nadmiar wilgoci, siarkowodor oraz ditlenek węgla. Obecność tych związków obniża bowiem wartość opałową biogazu. Biofiltr służący do usuwania siarkowodoru jest instalowany najczęściej w postaci rury wypełnionej nośnikiem obojętnym chemicznie, na którego powierzchni rozwijają się bakterie siarkowe. Podczas przepływu biogazu przez tego rodzaju system bakterie siarkowe dokonują rozkładu siarkowodoru. Ditlenek węgla może być usuwany przy użyciu węglowych sit molekularnych. Nie wydostaje się on z biogazowni do atmosfery i tym samym nie przyczynia się do zwiększania niekorzystnych zmian w środowisku naturalnym.

Całkowicie przefermentowana biomasa organiczna jest w około 95% zmineralizowana i wykazuje w tym momencie śladową uciążliwość zapachową. Stanowi wysokiej jakości nawóz organiczny. Może być on bezpośrednio rozprowadzany na pola lub też poddany dalszej operacji technologicznej. Polega ona na częściowym

odwodnieniu, a następnie zmieszaniu z dolomitom (jest to tzw. pył skalny), uformowaniu granul i podsuszeniu. Tak otrzymany granulowany nawóz może być przechowywany przez bardzo długi czas. Woda otrzymana w procesie odwadniania biomasy może być użyta do celów gospodarczych, np. do rozcieńczania kolejnej partii biomasy przygotowywanej do fermentacji. Proces ten jest praktycznie bezodpadowy [7; 10-11; 18; 47-48].

5. Rozwój biogazownictwa w Europie Zachodniej i w Polsce

Wiele krajów Europy Zachodniej, dużo bogatszych od Polski, jest już znacznie zaawansowanych w produkcji biogazu jako alternatywnego źródła energii. Podstawą do podjęcia wiele lat temu i do nadal konsekwentnego prowadzenia tych prac badawczych była przede wszystkim potrzeba uniezależnienia się od stale rosnących cen gazu ziemnego i ropy naftowej. Technologia ta łączy wiele strategii ochrony środowiska, ponieważ pozwala zlikwidować uciążliwe odpady powstające na farmie rolnej, wyprodukować w tym samym procesie wysokiej jakości nawóz organiczny oraz uzyskać biogaz, który może być w części wykorzystany we własnym gospodarstwie, a w części odsprzedany innym odbiorcom. Przewodzącymi krajami w dziedzinie rozwoju biogazownictwa są przede wszystkim Niemcy, następnie Szwecja, Dania, Holandia, Wielka Brytania [13; 49-51]. Odpowiednio sformułowane przepisy prawne, ustawy i zachęty finansowe w tych krajach wspierają tę technologię i umożliwiają jej szybki rozwój.

Wzorcowe rozwiązania wprowadzono w Niemczech. Dotyczą one między innymi zagwarantowania przez państwo (nawet przez 20 lat) korzystnych dla producentów biogazu minimalnych stawek cen za wytwarzaną w biogazowni i dostarczaną państwu energię. Państwo wspiera jednostki małej mocy, a więc tzw. energetykę rozproszoną. Producenci biogazu dostają liczne i znaczące ulgi zachęcające ich do np. zwiększenia produkcji biogazu, jego szerszego zagospodarowania czy skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej. Na bardzo korzystnych warunkach otrzymują kredyty bankowe na uruchomienie produkcji i jej dalszy rozwój. Te zaprezentowane w niniejszym artykule tylko niektóre z wielu ułatwień i udogodnień stworzonych przez państwo. Umożliwiły one w ostatnich latach powstanie w Niemczech ponad 3500 bioelektrowni, które czerpią energię z licznych biogazowni rolniczych. W tym kraju obecnie instaluje się bioelektrownię o mocy 350-750 kW energii elektrycznej wykorzystującą biogaz do jej wytwarzania.

W miejscowości Penkun w Meklenburgii budowana jest największa na świecie elektrociepłownia biogazowa składająca się z 40 fermentorów. Każdy z instalowanych tam fermentorów ma pojemność 2500 m³. Niemiecka spółka Schmack Biogas AG we współpracy z EON Ruhrgas i EON Bayern buduje największą biogazownię w Europie. Z biomasy pozyskiwanej od okolicznych rolników (61,5 tys. ton rocznie) będzie wytwarzać 16 mln m³ biogazu. Ta biogazownia powstaje w pobliżu miasta Schwandorf i na jej budowę przeznaczono 15,8 mln euro. W nadreńsko-westfalskiej

miejsowości Steinfurt w oparciu na dostawach biogazu rolniczego działa elektrociepłownia zaopatrująca w ciepło użytkowe okoliczne biurowce, mieszkania oraz szkołę. Również w miejscowości Billerbeck, w Westfalii, kilku miejscowych rolników założyło firmę i wspólnie podjęło się produkcji biogazu. Obecnie jest tam zainstalowanych i pracuje w układzie ciągłym siedem bioreaktorów o łącznej pojemności 12 tys. m³. Ponieważ okazało się, że ta inwestycja przynosi duże korzyści finansowe, rozpoczęto już budowę wielu następnych fermentorów. Przewiduje się, że w Niemczech w niedalekiej przyszłości wytwarzanie prądu i ciepła z biogazu będzie rzeczywistą konkurencją dla paliw kopalnych [7; 10-11; 18]. Z gospodarczego punktu widzenia można stwierdzić, że przetwarzanie biomasy do energii elektrycznej i ciepła użytkowego staje się w Niemczech drugim ważnym filarem rolnictwa.

Szwecja zamierza do tego, by do roku 2020 być pierwszym krajem na świecie, który zrezygnuje z importu ropy i oprze swoją gospodarkę na energii pochodzącej z jej odnawialnych nośników, w tym w dużej mierze na energii pochodzącej z biogazu. W tym kraju już do 2005 roku pracowało 10 dużych biogazowni, a wiele było w trakcie budowy [10; 49]. Podobnie w Dani do roku 2005 wybudowano 19 tego typu zakładów. Jednym z większych jest Nysted Biogas Amba w Kettinge. Biomase do produkcji biogazu w tym zakładzie stanowią głównie odchody z farm zwierząt hodowlanych [12; 49].

Jak wygląda sytuacja w zakresie produkcji biogazu jako alternatywnego źródła energii w Polsce? Akty prawne o charakterze ustawodawczym i wykonawczym w zakresie działania biogazowni bardzo często są sprzeczne z założeniami wspierania rozwoju odnawialnych źródeł energii. Brak wielu jasnych i jednoznacznych przepisów i zarządzeń zniechęca wielu potencjalnych producentów biogazu do podejmowania praktycznych działań zmierzających do rozpoczęcia tego typu inwestycji. Przykładem jednego z wielu tego typu sprzecznych i niespójnych przepisów jest rozporządzenie organu państwowego, które mówi, że nawozem rolniczym może być odpęd pofermentacyjny pochodzący z odchodów zwierząt gospodarskich i odpadów roślinnych jest zgoda na jego wykorzystanie w tej postaci, natomiast zarządzenie innego organu państwowego zabrania stosowania jako nawozu odpędu pofermentacyjnego pochodzącego z odpadów poubojowych lub pochodzących z produktów ubocznych przemysłu mięsnego. Tymczasem analizy ekonomiczne wskazują jednoznacznie, że biogazownia będzie mogła uzyskać wysoką efektywność tylko wówczas, gdy biomase przeznaczoną do beztlenowej fermentacji stanowić będzie mieszanina odchodów zwierzęcych i drobiowych, odpadów poubojowych z rzeźni, odpadów przemysłu mięsnego i odpadów roślinnych.

Innym czynnikiem hamującym rozwój biogazowni opartych głównie na materiale roślinnym są obecnie obowiązujące stawki wynagrodzeń za energię pozyskaną z biomasy rolniczej, które są zbyt niskie, koszty produkcji substratów roślinnych są zaś zbyt wysokie. To powoduje, że uruchamianie biogazowni opartych tylko na materiale roślinnym jest nieopłacalne. Zwiększenie zaś jej opłacalności przez wykorzystanie np. odpadów poubojowych z rzeźni i odpadów z zakładów mięsnych może

skutkować zakazem zagospodarowania tego rodzaju odpadu pofermentacyjnego jako nawozu. Niezależnie od niespójnych przepisów sama droga polskiego rolnika do uruchomienia biogazowni rolniczej jest niezwykle skomplikowana i zbiurokratyzowana.

Istnieje realne niebezpieczeństwo, że w związku z intensywnym rozwojem biogazownictwa w Niemczech rolnictwo w tym kraju w pewnym momencie nie będzie w stanie dostarczyć wystarczającej ilości surowców do swoich biogazowni. Wzrośnie wówczas zainteresowanie zakupem tych surowców w Polsce po korzystnych dla naszych rolników cenach. W tej sytuacji polskie tereny rolne staną się źródłem biomasy dla opłacalnych, bo wspieranych przez państwo, biogazowni niemieckich. Już teraz na terenach przygranicznych niemieccy producenci biogazu kontraktują u polskich rolników znaczne ilości zbóż, które przeznaczają na biomasę do produkcji biogazu. Jeżeli to zjawisko będzie przybierać coraz większe rozmiary, to rozwój polskiego biogazownictwa może być wstrzymany praktycznie na wiele lat. Obecnie w Polsce praktycznie nie ma produkcji biogazu pochodzącego z biogazowni rolniczych. Zaledwie około 2,5% energii elektrycznej pochodzi jedynie z gazu wysypiskowego i gazu ściekowego [10; 50-51].

6. Podsumowanie

W niniejszym artykule wyjaśniono, na czym polega zachodzący spontanicznie w przyrodzie proces biologiczny określany jako rozkład beztlenowy związków organicznych. Wskazano przyczyny, dla których zaczyna on być coraz powszechniej wykorzystywany jako proces już kontrolowany w oczyszczaniu ścieków przemysłowych zawierających związki organiczne. Przybliżono pojęcie biogazu, gazu wysypiskowego, gazu ściekowego, biomasy. Scharakteryzowano te gazy pod względem jakościowym i ilościowym i ich wartości energetycznych. Na podstawie najnowszej literatury naukowej podano przykłady zastosowania beztlenowej degradacji związków organicznych do oczyszczania konkretnych rodzajów ścieków organicznych przemysłu spożywczego. Omówiono rodzaje bioreaktorów stosowanych do prowadzenia procesów fermentacji i zasady ich działania. Wskazano na duże możliwości wykorzystania procesu biodegradacji w gospodarstwach rolnych i na farmach hodowlanych. Przedyskutowano postępy w rozwoju biogazownictwa w krajach Europy Zachodniej i omówiono sytuację występującą w tej kwestii w Polsce.

Literatura

- [1] Martinez-Garcia G., Johnson A.C., Bachmann R.T., Williams C.J., Burgoyne A., Edyvean R.G.J., *Two-stage biological treatment of olive mill wastewater with whey as co-substrate*, Inter. Biodeteriorat. Biodeg. 2007, **59**, 273.
- [2] Kuś J., *Prognozowane zmiany w zasiewach w świetle planowanego wzrostu powierzchni uprawy roślin na cele energetyczne*, „Wiś Jutra” 2004, **3(68)**, 50.

- [3] Magrel L., Dąbrowski W., Boruszko D., (1997), *Możliwości wykorzystania biogazu w gospodarstwie rolnym*, w: Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Wykorzystanie energii odnawialnej w rolnictwie, Wyd. IBMER, Warszawa 1997.
- [4] Romaniuk W., Wardal W., *Pozyskiwanie biogazu do celów energetycznych*, w: Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Wykorzystanie energii odnawialnej w rolnictwie, Wyd. IBMER, Warszawa 1999.
- [5] Kowalik P., *Aktualny stan i perspektywy wykorzystania energii biomasy w Polsce*, w: Międzynarodowe Seminarium pt. Odnawialne źródła energii w strategii rozwoju zrównoważonego, Wyd. IBMER, Warszawa 1998.
- [6] Kozak K., Jędrzejewska M., Krzemieniewski M., *Technologia beztlenowa jako metoda utylizacji odpadów poubojowych*, Przem. Spoż. 2005, **3**, 48.
- [7] Towpik T., *Za dwa miliony euro*, Agroenerg. 2007, **1(19)**, 30.
- [8] Han-Qing Yu, Fang H.H.P., Guo-Wei-Gu, *Comparative performance of mesophilic and thermophilic acidogenic upflow reactors*, Proc. Biochem. 2002, **38**, 447.
- [9] Han-Qing Yu, Fang H.H.P., *Acidification of mid-and high- strength dairy wastewaters*, Water Res. 2001, **35(15)**, 3697.
- [10] Kotowski W., *Moc z odpadów*, Agroenerg. 2006, **2(16)**, 35.
- [11] Kotowski W., *Klimatyzacja z gnojowicy*, Agroenerg. 2006, **4(18)**, 31.
- [12] Parawira W., Muro M., Read J.S., Mattiasson B., *Profile of hydrolases and biogas production during two stage mesophilic anaerobic digestion of solid potato waste*, Proc. Biochem. 2005, **40**, 2945.
- [13] Romaniuk W., *Pozyskiwanie energii z procesów fermentacji metanowej w rolnictwie i gospodarce żywnościowej*, w: Międzynarodowe Seminarium pt. Odnawialne źródła energii w strategii rozwoju zrównoważonego, Wyd. IBMER, Warszawa 1998.
- [14] Romano R.T., Zhang R., *Co-digestion of onion juice and wastewater sludge using an anaerobic mixed biofilm reactor*, Biores. Technol. 2008, **99**, 631.
- [15] Wójcicki Z., *Potencjał odnawialnych zasobów energii w rolnictwie*, „Więś Jutra” 2003, **2(55)**, 8.
- [16] Maksymowicz B., *Wykorzystanie gazu wysypiskowego w Polsce*, w: Międzynarodowe Seminarium pt. Odnawialne źródła energii w strategii rozwoju zrównoważonego, Wyd. IBMER, Warszawa 1998.
- [17] Nishio N., Nakashimada Y., *Recent development of anaerobic digestion process for energy recovery from wastes*, J. Biosci. Bioeng. 2007, **103(2)**, 105.
- [18] Szymandera Z., *Pewna inwestycja*, Agroenerg. 2007, **4(22)**, 33.
- [19] Erguder T.H., Tezel U., Guven E., Demirer G.N., *Anaerobic biotransformation and methane generation potential of cheese whey in batch and UASB reactors*, Waste Managm. 2001, **21**, 643.
- [20] Saddoud A., Hassairi I., Sayadi S., *Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey*, Biores. Technol. 2007, **98(11)**, 2102.
- [21] Jian Yu, *Production of PHA from starchy wastewater via organic acids*, J. Biochem. 2001, **86**, 105.
- [22] Barampouti E.M.P., Mai S.T., Vlyssides A.G., *Dynamic modelling of biogas production in an UASB reactor for potato processing wastewater treatment*, Chem. Eng. J. 2005, **106(1)**, 53.
- [23] Barampouti E.M.P., Mai S.T., Vlyssides A.G., *Dynamic modelling of the ratio volatile fatty acids/bicarbonate alkalinity in a USAB reactor for potato processing wastewater treatment*, Env. Monit. Asses. 2005, **110(1-3)**, 121.
- [24] Colin X., Farient J.L., Rojas O., Alazard D., *Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support*, Biores. Technol. 2007, **98(4)**, 1602.
- [25] Paixao M.A., Tavares C.R.G., Bergamasco R., Bonifacio L.E., Costa R.T., *Anaerobic digestion from residue of industrial cassava industrialization with acitogenic and methanogenic physical separation phases*, Appl. Biochem. Biotechnol. 2000, **84(86)**, 809.

- [26] Han-Qing Yu, Quan-Bao Zhao, Yong-Tang, *Anaerobic treatment of winery wastewater using laboratory-scale multi-and single – feed filters at ambient temperatures*, Proc. Biochem. 2006, **41**, 2477.
- [27] Escudie R., Conte T., Steyer J.P., Delganes J.P., *Hydrodynamic and biokinetic models of an anaerobic fixed-bed reactor*, Proc. Biochem. 2005, **40**, 2311.
- [28] Petersson A., Thomsen M.H., Hauggaard-Nielsen H., Thomsen A., *Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean*, Proc. Biochem. 2007, **31**, 812.
- [29] Boubaker F., Ridha B.Ch., *Anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with olive mill solid waste in a tubular digester at mesophilic temperature*, Biores. Technol. 2007, **98(4)**, 769.
- [30] Demirer G.N., Erguder T.H., Guven E., *Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch digester*, Proc. Biochem. 2000, **36**, 243.
- [31] Dhoub A., Ellouz M., Aloui F., Sayadi S., *Effect of bioaugmentation of activated sludge with white-rot fungi on olive mill wastewater detoxification*, Let. Appl. Microbiol. 2006, **42(4)**, 405.
- [32] Gizgis N., Georgiou M., Diamadopoulos E., *Sequential anaerobic/aerobic biological treatment of olive mill wastewater and municipal wastewater*, J. Chem. Technol. Biotechnol. 2006, **81(9)**, 1563.
- [33] Mechichi T., Sayadi S., *Evaluating process imbalance of anaerobic digestion of olive mill wastewater*, Proc. Biochem. 2005, **40**, 139.
- [34] Najafpur G.D., Zinatizadeh A.A.L., Mohamed A.R., Hasnain-Isa M., *High-rate anaerobic digestion of palm oil mill effluent in an upflow anaerobic sludge-fixed film bioreactor*, Proc. Biochem. 2006, **41**, 370.
- [35] Yacob S., Shirai Y., Hassan M.A., Wakisaka M., Subash S., *Start-up operation of semi-commercial closed anaerobic digester for palm oil mill effluent treatment*, Proc. Biochem. 2006, **41**, 962.
- [36] Han-Qing Yu, Zhen-Hu-Hu, Tian-Qiu Hong, Guo-Wei Gu, *Performance of an anaerobic filter treating soybean processing wastewater with and without effluent recycle*, Proc. Biochem. 2002, **38**, 507.
- [37] Nagai H., Kobayashi M., Tsuji Y., Nakashimada Y., Kakizono T., Nishio N., *Biological and chemical treatment of the solid waste from the process of soy sauce manufacture*, Water Scien. Technol. 2002, **45**, 335.
- [38] Grondke J., Klinger J., *Biogas to Bio-CNG: pressmud and spent wash – waste materials with high commercial potential*, Inter. Sugar J. 2008, **110**, 34.
- [39] Fang H.H.P., Han-Qing Yu, *Mesophilic acidification of gelatinaceous wastewater*, J. Biotechnol. 2002, **93**, 99.
- [40] Goel B., Pant D.C., Kishore V.V.N., *Two-phase anaerobic digestion of spent tea leaves for biogas and manure generation*, Biores. Technol. 2001, **80(2)**, 153.
- [41] Masse L., Masse D.I., Kennedy K.J., Chou S.P., *Neutral fat hydrolysis and long-chain fatty acid oxidation during anaerobic digestion of slaughterhouse wastewater*, Biotechnol. Bioeng. 2002, **79(1)**, 43.
- [42] Kanagasooriyam-Kanagachandran, *Biogas generation from brewery wastes: demonstration at a labory scale*, Tech. Quart. Master Brewers Assoc. of the Americas 2004, **41(4)**, 394.
- [43] Kanagasooriyam-Kanagachandran, *Optimization of spent grain slurry for energy generation*, Tech. Quart. Master Brewers Assoc. of the Americas 2005, **42(4)**, 324.
- [44] Mitani Y., Takamoto Y., Atsumi R., Hiraga T., Nishio N., *Hydrogen and methane two-stage production directly from brewery effluent by anaerobic fermentation*, Tech. Quart. Master Brewers Assoc. of the Americas 2005, **42(4)**, 283.
- [45] Ramachandran S., Singh S.K., Larroche Ch., *Oil cakes and their biotechnological applications – A-review*, Biores. Technol. 2007, **98**, 2000.

- [46] Vargas-Garcia M.C., Suarez-Estrella F., Lopez M.J., Moreno J., *In vitro studies on lignocellulose degradation by microbial strains isolated from composting processes*, Inter. Biodeteriorat. Biodeg. 2007, **59**, 322.
- [47] Kiec P., *Biogazownia dla nielicznych*, Top Agr. Pol. 2006, **2**, 40.
- [48] Konieczka D., *Pewność zbytu energii to podstawa*, Top Agr. Pol. 2006, **2**, 2.
- [49] Jung Kon Kim, Beak Rock Oh, Young Nam Chun, Si Wouk Kim, *Effect of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste*, J. Bios. Biotechnol. 2006, **102(4)**, 328.
- [50] Kotowski W., *Zamiast energii atomowej*, Agroenerg. 2007, **2(20)**, 29.
- [51] Kowalczyk-Juško A., *Gdzie jest polski biogaz?*, Agroenerg. 2008, **1(23)**, 27.

ANAEROBIC DIGESTION AS A PROCESS FOR MINERALIZATION OF ORGANIC WASTES AND ENERGY RECOVERY IN THE FORM OF BIOGAS

Summary: Anaerobic digestion of organic wastes has gained increased attention as a means of producing energy and reducing problems associated with the disposal of organic wastes. Anaerobic digestion is a complex process of a series of microbial transformations of organic materials. The process leads to the overall mineralization of organic wastes and produces biogas which contains mainly methane and carbon dioxide. The biogas may be employed as a fuel for electricity and heat generation. The residual after anaerobic degradation may be used as a high quality manure and soil amendment. A lot of studies have been reported in the literature on anaerobic digestion of various food processing wastes, eg. palm oil mill effluent, olive mill wastewater, soybean wastewater, solid potato waste, cheese whey wastewater. Different types of anaerobic reactors were also used to achieve rapid and effective anaerobic digestion. Some examples are listed as follows: up-flow anaerobic filter reactor, up-flow anaerobic sludge blanket reactor, up-flow anaerobic sludge-fixed film reactor, anaerobic horizontal-flow filter packed reactor with bamboo pieces, continuous stirred tank reactor.

In some European states the anaerobic digestion process is developing tremendously. A number of biogas plants employing anaerobic digestion use domestic animal and poultry excrements, slaughterhouse wastewater and food waste as a main component of biomass for methane generation. The anaerobic digestion is carried out in reactors made of stainless steel and concrete. Their capacity range from 2000 to 3000 m³. The reactors are equipped with stirrer and heating/cooling devices. Currently, Germany, Sweden, Denmark and the Netherlands are the most advanced European countries in this technology. A lot of biogas plants in these countries are under operation and a lot of additional are under construction. Poland is at the beginning of this road.