

**Krzysztof BIERNAT**

Instytut Ekologii i Bioetyki, UKSW, Warszawa

**Paulina Luiza DZIOŁAK**

Instytut Ekologii i Bioetyki, UKSW, Warszawa

**Izabela SAMSON-BREK**

Instytut Ekologii i Bioetyki, UKSW, Warszawa

## **Technologie energetycznego wykorzystania odpadów**

**Słowa kluczowe:** odpady, energia, technologie plazmowe, fermentacja, biogaz

**Key Word:** wastes, energy, plasma technology, fermentation, biogas

### **Wprowadzenie**

Na obecnym poziomie rozwoju cywilizacyjnego pojawiają się nowe problemy związane z dostępnością źródeł energii. Obecnie potrzeby energetyczne zaspakajane są w głównej mierze przez paliwa kopalne. Jednak ich zasoby są ograniczone i według przewidywań wielu naukowców wkrótce mogą ulec wyczerpaniu. Co więcej energia uzyskana z paliw kopalnych powoduje znaczne pogorszenie stanu środowiska naturalnego, przyczyniając się do jego degradacji.

W świetle powyższych obaw i zagrożeń pojawia się zainteresowanie nowymi nośnikami energii, które mogłyby stanowić alternatywne, wobec paliw kopalnych, źródło energii oraz przyczynić się do poprawy stanu środowiska. Takie pożądane źródło energii mogą stanowić odpady organiczne ulegające biodegradacji oraz odpady komunalne.

W ostatnich latach w Polsce gospodarka odpadami uległa znacznym modyfikacją. Podstawą tych zmian jest w szczególności Dyrektywa Rady 99/31/WE w sprawie składowisk odpadów oraz Dyrektywa 2006/12/WE o odpadach. Dyrektywy te nakładają na państwa człon-

kowskie obowiązek zmniejszenia ilości składowanych odpadów organicznych oraz prowadzenie gospodarki odpadami zgodnej z zasadami zrównoważonego rozwoju. Realizacja postanowień Dyrektywy jest w przypadku Polski bardzo trudna ze względu na brak wystarczającej ilości instalacji do odzysku i unieszkodliwiania odpadów, co z kolei przekłada się na niewielką ilość odpadów, która poddawana jest procesom biologicznego i termicznego przekształcania. Dlatego też celem, niniejszej pracy jest pokazanie odpadów organicznych oraz komunalnych jako alternatywnego źródła energii oraz korzyści, jakie może przynieść ich energetyczne wykorzystanie. Korzyści te dotyczą zarówno względów środowiskowych, jak również niezależnienia się od konwencjonalnych nośników energii.

Jednym ze sposobów biologicznego unieszkodliwiania odpadów organicznych z jednoczesnym wytworzeniem biogazu jako surowca energetycznego są procesy fermentacyjne. Fermentacja może być prowadzona zarówno w warunkach tlenowych (kompostowanie), jak również beztlenowych (fermentacja metanowa), a także procesach będących połączeniem obu tych technologii.

W przypadku unieszkodliwiania odpadów komunalnych z jednoczesnym odzyskiem energii perspektywiczną wydaje się być technologia plazmowa, która pozwala na wytworzenie surowca energetycznego w postaci gazu syntezowego w sposób przyjazny dla środowiska. Niekwestionowaną zaletą tej technologii jest możliwość odzyskania w 90% energii wsadu, jak również neutralizacja i likwidacja substancji szkodliwych zawartych w odpadach dzięki zastosowaniu bardzo wysokich temperatur.

## **Procesy fermentacyjne jako przykład możliwości energetycznego wykorzystania odpadów organicznych w Polsce**

### **1. Definicje**

Istnieje szereg przepisów prawnych na podstawie których możemy stwierdzić, że najlepszym sposobem zagospodarowania odpadów organicznych jest ich energetyczne wykorzystanie na drodze procesów recyklingu organicznego.

Podstawowym dokumentem zawierającym definicje dotyczące odpadów organicznych oraz ich biologicznego przetwarzania jest Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2007 roku (Dz. U. Nr 62, poz. 628). Zgodnie z art. 3 wyżej wymienionej ustawy przez recykling organiczny rozumie się obróbkę tlenową, w tym kompostowanie, lub beztlenową odpadów, które ulegają rozkładowi biologicznemu w kontrolowanych warunkach, przy wykorzystaniu mikroorganizmów, w wyniku której powstaje materia organiczna lub metan (A: art. 3, p. 3).

Recykling organiczny zaliczany jest do metod odzysku R3 - recykling lub regeneracja substancji organicznych, które nie są stosowane jako rozpuszczalniki (włączając kompostowanie i inne biologiczne procesy przekształcania). Odzyskowi poddawane są odpady w całości lub w części w celu odzyskania z nich substancji, materiałów lub energii i ich wykorzystania.

Proces rozkładu beztlenowego (fermentacja metanowa) zazwyczaj w literaturze specjalistycznej definiowany jest jako kontrolowany proces biologicznego rozkładu materii organicznej w warunkach beztlenowych, w którym substancje organiczne rozkładane są przez bakterie na związki proste, głównie metan i ditlenek węgla. Definicja ta nie jest jednak pełna, gdyż nie uwzględnia wszystkich produktów fermentacji. W definicji pominięty został materiał przefermentowany, który z powodzeniem może być stosowany jako nawóz. Brak określenia w definicji charakterystyki materiału przefermentowanego powoduje, że może on być traktowany dwojako: zarówno jako odpad, jak i nawóz.

Kolejnym dokumentem zawierającym większość definicji związanych z biologicznym przetwarzaniem odpadów jest Dyrektywa o bioodpadach (B). W Dyrektywie zaproponowano następujące definicje (B: tłumaczenie własne):

**Biodpady** oznaczają wszystkie odpady, które ulegają rozkładowi beztlenowemu lub tlenowemu takie, jak żywność, odpady ogrodowe, papier i tektura.

**Odpady zielone i odpady drewna** oznaczają odpady roślinne z ogrodów i parków, wycinki drzew, gałęzie, trawę, liście (z wyjątkiem odpadów pochodzących z zmiatania ulic), trociny, zrębki drzewne

i inne odpady drewna nie zawierające metali ciężkich i związków organicznych.

**Materiał przefermentowany** to produkt powstały w wyniku fermentacji beztlenowej wyselekcjonowanych odpadów organicznych, który spełnia wymogi ochrony środowiska klas jakości zawartych w załącznik III projektu Dyrektywy.

**Biogaz** oznacza mieszaninę dwutlenku węgla, metanu i gazów śladowych powstający w wyniku kontrolowanej fermentacji beztlenowej odpadów organicznych.

**Fermentacja beztlenowa** oznacza kontrolowany rozkład biologiczny odpadów organicznych w warunkach niedoboru tlenu przez mikroorganizmy (w tym bakterie metanowe) w celu wytworzenia biogazu i materiału przefermentowanego.

**Przetwarzanie** oznacza kompostowanie, fermentację beztlenową, przetwarzanie mechaniczno-biologiczne lub jakiegokolwiek inny proces poprawy stanu sanitarnego odpadów.

**Użyźnianie** oznacza poprawę warunków glebowych w celu wzrostu roślin zapewniając ochronę środowiska w szerokim tego słowa znaczeniu, zgodnie z wymogami zawartymi w art. 4 Dyrektywy 75/442/EWG wraz z późniejszymi zmianami, kiedy przetworzone lub nieprzetworzonych odpady organiczne są rozprowadzane na powierzchni gruntu.

## 2. Przegląd surowców do procesu fermentacji

Różnorodność odpadów organicznych mogących stanowić substrat w procesach fermentacyjnych jest bardzo duża. O przydatności surowca do biologicznego przetwarzania w warunkach beztlenowych decyduje jego struktura – zwarta o dużej wilgotności. W tabeli poniżej przedstawiono wykaz odpadów organicznych mogących stanowić substrat w procesach fermentacji.

Kod	Grupy i podgrupy odpadów
02	Odpady z rolnictwa, sadownictwa, upraw hydroponicznych, rybołówstwa, leśnictwa, łowiectwa oraz przetwórstwa żywności
02 01	Odpady z rolnictwa, sadownictwa, upraw hydroponicznych, leśnictwa, łowiectwa i rybołówstwa

02 02	Odpady z przygotowania i przetwórstwa produktów spożywczych pochodzenia zwierzęcego
02 03	Odpady z przygotowania, przetwórstwa produktów i używek spożywczych oraz odpady pochodzenia roślinnego, w tym odpady z owoców, warzyw, produktów zbożowych, olejów jadalnych, kakao, kawy, herbaty oraz przygotowania i przetwórstwa tytoniu, drożdży i produkcji ekstraktów drożdżowych, przygotowywania i fermentacji melasy (z wyłączeniem 02 07)
02 04	Odpady z przemysłu cukrowniczego
02 05	Odpady z przemysłu mleczarskiego
02 06	Odpady z przemysłu piekarniczego i cukierniczego
02 07	Odpady z produkcji napojów alkoholowych i bezalkoholowych (z wyłączeniem kawy, herbaty i kakao)
19	Odpady z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych
19 08	Odpady z oczyszczalni ścieków nieujęte w innych grupach
19 09	Odpady z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych
20 02	Odpady z ogrodów i parków (w tym z cmentarzy)
20 03	Inne odpady komunalne

**Tabela 1.** Odpady organiczne ulegające procesowi biodegradacji (C: załącznik 1).

Ogólnie odpady organiczne ulegające biodegradacji w procesach fermentacyjnych możemy powielić na cztery grupy (Rys. 1) (opracowanie własne):

1. Odpady pochodzące z rolnictwa,
2. Odpady pochodzące z przemysłu spożywczego,
3. Odpady organiczne z obiektów komunalnych i gospodarstw domowych,
4. Odpady z pielęgnacji zieleni miejskiej.



**Rys. 1.** Odpady organiczne wykorzystywane w procesie fermentacji

Źródło: Opracowanie własne

## 2.1. Odpady z rolnictwa

Odpadem z rolnictwa, który ma największe zastosowanie w procesach fermentacyjnych oraz jako substrat energetyczny są odchody zwierzęce (gnojowica, obornik). Ilość i jakość odchodów zwierzęcych determinowana jest przez wiele czynników. Do najważniejszych należą między innymi gatunek zwierzęcia, wiek, rozmiar, rodzaj i jakość paszy, ilość wody, sposób chowu oraz warunki klimatyczne. W tabeli 2 umieszczono dane dotyczące ilości odchodów dla różnych gatunków zwierząt (Jędrzak 2007a: 31).

Gatunek	Średnia ilość odchodów, dm <sup>3</sup> /szt./dobę
Cielęta < 0,5 roku	12-25
Jałówki < 1,5 roku	20-35
> 1,5 roku	25-40
Krowy mleczne	50-75
Buhaje	50-75
Prosięta	3-10
Warchlaki < 4 m-cy	4-15
Tuczniki i loszki	6-25
Maciory	10-30
Knury	8-20

**Tabela 2.** Średnie ilości odchodów dla różnych gatunków zwierząt

Uzyska biogazu w procesie fermentacji z wyżej wymienionych rodzajów odchodów zwierzęcych nie jest jednakowy. I tak uzysk biogazu z gnojowicy świń jest nieco większy (74% metanu), niż z gnojowicy bydła (71%), co spowodowane jest tym, iż materia organiczna zawarta w żołądku krowy ulega wstępnej fermentacji (Tabela 3) (Institut für Energetik und Umwelt GmbH: 110).

Substrat	Uzysk biogazu		Zawartość metanu [% obj.]
	m <sup>3</sup> /t substratu	m <sup>3</sup> /t s.m.o.	
gnojowica bydła	20-30	200-500	60
gnojowica świń	20-35	300-700	60-70
obornik bydła	40-50	210-300	60
obornik świń	55-65	270-450	60
obornik kurzy	70-90	250-450	60

**Tabela 3.** Uzysk biogazu z poszczególnych rodzajów odchodów zwierząt hodowlanych

Gnojowica jest odpadem o znacznym stopniu uwodnienia (60-97%) (Jędrzak 2007b: 31), co pozwala na łączenie jej z innymi substratami (tzw. kosubstraty). W przypadku nawozów zawierających wysoki współczynnik suchej masy organicznej konieczne jest ich rozcieńczenie przez dodanie wody lub kosubstratów o dużej zawartości wody.

## 2.2. Odpady z przemysłu rolno-spożywczego

Przemysł rolno-spożywczy generuje rocznie ok. 10 mln Mg odpadów organicznych. Większość z tych odpadów poddawana jest odzyskowi i może być następnie wykorzystana jako substrat w procesach fermentacyjnych.

Odpady z przemysłowe oprócz białek, tłuszczu i węglowodanów zawierać mogą również zanieczyszczenia takie, jak szkła, tworzywa sztuczne lub, w przypadku odpadów poubojnianych, kości, kopyta, rogi lub pióra), dlatego też odpady poddawane procesowi fermentacji powinny być dobierane starannie z przeprowadzeniem wstępnego oczyszczania. Duża zawartość tłuszczu w omawianych odpadach

zwiększa produkcję biogazu, wpływając jednocześnie na wydłużenie procesu fermentacji ze względu na niski poziom podatności na biodegradację. Większa zawartość białek i węglowodanów skraca z kolei czas pobytu materiału w komorze fermentacyjnej, jednak mniejsza uzysk biogazu.

Średni uzysk biogazu dla odpadów z przemysłu rolno-spożywczego waha się w granicach 160-900 cm<sup>3</sup>/kg s.m.o. W tabeli 4 zestawiono potencjał produkcji biogazu z uwzględnieniem niektórych rodzajów odpadów organicznych (Jędrzak 2007c: 31).

Rodzaj substratu	Uzysk biogazu [m <sup>3</sup> /tonę s.m.o.]	Zwartość metanu w biogazie [%]
Szlamy poflotacyjne z rzeźni	0,9-1,2	700
Krew	0,41	410
Odpady z owoców	0,59-0,66	400
Pulpa ziemniaczana	0,65-0,75	250
Pulpa jabłeczna	0,66-0,68	330
Wysłodki browarniane	0,58-0,75	380
Melasa	0,36-0,49	300

**Tabela 4.** Uzysk biogazu z wybranych rodzajów odpadów organicznych

### 2.3. Osady ściekowe

Zgodnie z zapisami Ustawy o odpadach komunalne osady ściekowe to pochodzący z oczyszczalni ścieków osad z komór fermentacyjnych oraz innych instalacji służących do oczyszczania ścieków komunalnych oraz innych ścieków o składzie zbliżonym do składu ścieków komunalnych (A: art. 3, p. 3). Skład chemiczny osadów ściekowych jest zmienny i zależy od wielu czynników między innymi od rodzaju oczyszczanych ścieków, technologii oczyszczania oraz od sposobu stabilizacji (Tabela 5) (GUS, D: art. 3, p. 1, Jędrzak 2007d). Udział ścieków przemysłowych w ściekach komunalnych oraz charakter tych ścieków może mieć decydujący wpływ na jakość powstających osadów.



Składniki	Wartość	Metale ciężkie	Zakres wartości [mg/kg s.m.o.]*
Substancje lotne, %	8,7-82,5	Ołów	500-1500
Oleje i tłuszcze, % s.m.	-	Kadm	10-50
Białko,	-	Rtęć	5-25
Celuloza,	-	Nikiel	100-500
Azot,	0,1-9,5	Cynk	2500-5000
Fosfor,	0,3-7,7	Miedź	800-2000
Potas,	0,01-1,03	Chrom	500-2500
Wapń,	0,03-8,3	-	-
Magnez,	0,01-3,7	-	-

\* Dotyczy osadów ściekowych wykorzystywanych w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne, do rekultywacji terenów na cele niewolne oraz przy przy dostosowywaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nie przeznaczonych do spożycia i produkcji pasz.

**Tabela 5.** Skład chemiczny osadów ściekowych oraz zawartość metali ciężkich

Najbardziej efektywnym sposobem zagospodarowania osadów ściekowych jest poddanie ich procesom fermentacji metanowej. Proces ten może być prowadzony w różnego typu urządzeniach od najprostszych takich, jak osadniki gnilne po te bardziej skomplikowane, jak duże komory fermentacyjne. Osady ściekowe mogą stanowić substrat samodzielny w procesach fermentacyjnych, lub też stanowić kosubstrat. Ilość gazu powstała podczas procesu fermentacji waha się w granicach 400-600 cm<sup>3</sup>/kg s.m.o., zaś zawartość metanu wynosi ok. 67%.

#### 2.4. Odpady z pielęgnacji zieleni miejskiej

Do odpadów z pielęgnacji zieleni miejskiej zaliczamy skoszoną trawę, ścinki drzew i krzewów, ściętą zieleń przydrożną, pozostałości po roślinach sezonowych oraz sortowane odpady cmentarne. Wadą tego substratu jest jego sezonowość, dlatego też w celu zapewnienia cało-

rocznych dostaw do instalacji fermentacyjnej powinien być o zakiszony. Z powodu rozrzucenia na dużym obszarze nie zawsze działanie to jest uzasadnione ekonomicznie, ponieważ koszty zebrania są zbyt wysokie.

Według Krajowego Planu Gospodarki Odpadami ilość odpadów z pielęgnacji zieleni miejskiej w 2004 r. wyniosła 326 tys. Mg, w tym odpady niesegregowane stanowiły 250 tys. Mg. Uzysk biogazu z fermentacji odpadów zielonych wynosi 150-200 m<sup>3</sup>/t substratu i 550-680 m<sup>3</sup>/t s.m.o., zaś uzysk metanu wynosi od 55 do 65% objętości.

Skład chemiczny odpadów zielonych zależy od rodzaju substratu. W tabeli 6 przedstawiono skład chemiczny różnych grup odpadów powstałych podczas pielęgnacji zieleni miejskiej (Jędrzak 2007e: 43).

<b>Substrat</b>	<b>Zmieszane odpady zielone</b> (pozostałości traw, odpady z pielęgnacji parków, rozdrobnione gałęzie)	<b>Świeża trawa</b>	<b>Sucha trawa</b>	<b>Liście</b>
<b>Substancja Organiczna</b> (% s.m.)	73,4	89,4	88,1	85,2
<b>Norg.</b> (% s.m.)	1,5	1,4	1,8	2,4
<b>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> (% s.m.)	0,3	1,1	0,6	0,32
<b>K<sub>2</sub>O</b> (% s.m.)	0,5	1,7	1,6	0,8
<b>Pb</b> (mg/kg s.m.)	3,4	1,9	3,6	11
<b>Cd</b> (mg/kg s.m.)	0,8	0,2	0,3	0,03
<b>Cr</b> (mg/kg s.m.)	6,6	6,0	6,5	2,1
<b>Cu</b> (mg/kg s.m.)	22,7	9,8	11,8	8,3
<b>Zn</b> (mg/kg s.m.)	184	60,4	50,8	50-73

**Tabela 6.** Skład chemiczny odpadów z pielęgnacji zieleni miejskiej

### 3. Proces fermentacji metanowej

Fermentacja metanowa to proces biologicznego rozkładu substancji organicznych zachodzący w warunkach beztlenowych. Fermentowany materiał rozkładany jest przez bakterie metanowe na związki proste.

Głównym produktem fermentacji metanowej jest gaz metanowy zwany biogazem. Gaz ten jest mieszaniną metanu i ditlenku węgla.

Fermentacja jest procesem składającym się z pięciu etapów, do których zaliczamy (Jędrzcak 2007f: 80-85, Oniszek-Popławska et al. 2003a: 14-16, Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: 5-6):

Etap I: hydroliza to proces, podczas którego spolimeryzowane związki organiczne (białka, węglowodany, tłuszcze) zostają przekształcone przez proteazę, amylazę i lipazę, enzymy odpowiednich szczepów bakterii, w rozpuszczalne aminokwasy, monocukry i kwasy tłuszczowe.

Etap II: acidogeneza, czyli faza kwaśna, podczas której produkty hydrolizy rozkładane są przez bakterie acidogenne do krótkołańcuchowych kwasów organicznych, głównie (76%) lotnych kwasów tłuszczowych (metanowy, etanowy, propanowy, butanowy, n-pentanowy, kapronowy), alkoholi (metanol, etanol), aldehydów i produktów gazowych takich, jak ditlenek węgla i wodór.

Etap III: octanogeneza, podczas której następuje przetwarzanie etanolu oraz lotnych kwasów tłuszczowych do octanów oraz  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2$  przy udziale bakterii acetogennych. Zahamowanie aktywności tych bakterii prowadzi do kumulacji lotnych kwasów organicznych, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia odczynu i zahamowania wzrostu bakterii metanogennych. Wówczas uaktywniają swoją działalność bakterie homoacetogenne, produkujące octany z  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2$ , umożliwiając w ten sposób rozwój bakterii acetogennych, a następnie zaś metanogennych.

Etap IV: metanogeneza to faza, w której powstaje metan z substratów takich, jak kwas octowy, wodór, ditlenek węgla, mrówczan, metanol, metyloaminy oraz siarczek dimetylowy. Jest to również faza stabilizacji gazów; ditlenek węgla jest na poziomie 40%, metan 60% i lotne kwasy tłuszczowe na co najmniej 5% poziomie; celuloza przez całą tę fazę ulega miarowemu rozkładowi.

Etap V: Jest to ostatnia procesu powstawania biogazu. Celuloza jest tu całkowicie rozłożona, co skutkuje zerową zawartością metanu i ditlenku węgla. Tlen i azot są w proporcjach takich samych, jak w atmosferze (20% i 78% odpowiednio).

Przebieg procesu fermentacji metanowej z uwzględnieniem wszystkich czterech faz przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat procesu fermentacji, Źródło: Opracowanie własne

### 3.1. Warunki przebiegu procesu

Fermentacja metanowa jest procesem biologicznego rozkładu substancji organicznych, który przebiega przy udziale mikroorganizmów, dlatego też bardzo ważne jest dobranie odpowiednich warunków środowiskowych, które pozwolą na właściwy rozwój bakterii, wpłyną korzystnie na ich aktywność oraz szybkość przemian. Do kluczowych warunków zaliczamy pH, temperaturę, zawartość składników pokarmowych oraz substancji spowalniających przebieg procesu, czyli inhibitorów.

Bakterie biorące udział w poszczególnych etapach procesu fermentacji posiadają różne wymagania i tolerancję na odczyn środowiska. Odpowiednia wartość pH zapewnia ich optymalny wzrost.

Organizmy biorące udział w I i II etapie procesu fermentacji metanowej, czyli w fazie hydrolizy i acidogenezy, najlepiej rozwijają się w pH od 4,5 do 6,3 (Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: 8), jednak wartości nieco niższe lub wyższe nie wpływają negatywnie na funkcjonowanie. Bakterie metanogenne zaś są bardziej wymagające i mniej tolerancyjne na zmiany odczynu. Najlepiej rozwijają się w pH między 6,8 a 7,5 (Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: 8). Obniżenie pH powoduje dosyć znaczące spowolnienie tempa wzrostu, natomiast nadmierny wzrost pH prowadzi do zahamowania procesu fermentacji.

W przypadku temperatury możemy powiedzieć, że reakcje chemiczne przebiegają tym szybciej, im wyższa jest temperatura otoczenia. W przypadku procesów, w których uczestniczą mikroorganizmy zależność ta nie do końca jest prawdziwa. Każdy rodzaj bakterii posiada inny zakres tolerancji na temperaturę. Jeżeli zakres ten zostanie przekroczony, wówczas może dojść do nieodwracalnego uszkodzenia struktur bakterii, a w konsekwencji do ich śmierci. Ze względu na wymagania temperaturowe bakterie uczestniczące w procesie fermentacji metanowej możemy podzielić na trzy grupy:

- bakterie psychofilowe, dla których optymalna temperatura wynosi od 5 do 25°C,
- bakterie mezofilowe najlepiej funkcjonują w zakresie temperatur między 32 a 42°C,
- bakterie termofilowe, dla których optymalna temperatura wynosi od 50 do 57°C.

Do prawidłowego funkcjonowania bakterie potrzebują również składników pokarmowych, do których zaliczamy azot, fosfor, siarka, związki węgla oraz pierwiastki śladowe. Dobór odpowiednich podłoży wpływa nie tylko na aktywność życiową bakterii, ale również na uzysk metanu. Ostateczna ilość metanu uzyskiwana z używanych podłoży jest określona poprzez zawartości białek, tłuszczu i węglowodanów. Ponadto o stabilnym przebiegu procesu decyduje również iloraz stosunek C/N w podłożu. Do prawidłowego przebiegu procesu fermentacji stosunek C/N powinien wynosić od 10:1 do 25:1 (Jędrzak 2007g: 91). Jeśli stosunek ten jest zbyt wysoki, przemiana węgla nie będzie całkowita, a azot zostanie zbyt szybko zużyty przez bakterie matanogenne, co w konsekwencji będzie skutkowało obniżonym uzyskiem metanu. W odwrotnym przypadku, gdy iloraz C/N jest zbyt niski, powstaje amoniak, który podwyższa pH hamując w ten sposób wzrost bakterii i spowalniając przebieg procesu.

Ostatnim czynnikiem, który znacząco wpływa na funkcjonowanie bakterii oraz na przebieg procesu są inhibitory. Inhibitory to substancje chemiczne, które już w niewielkich ilościach wpływają negatywnie na bakterie prowadząc do zaburzeń procesów życiowych oraz proce-

sów rozkładu. Inhibitory, ze względu na pochodzenie, możemy podzielić na dwie grupy:

- inhibitory, które znajdują się w podłożach (antybiotyki, środki ochrony roślin, pestycydy, metale ciężkie),
- inhibitory będące produktami przemiany materii, uwalniane podczas poszczególnych etapów fermentacji (amoniak).

W tabeli 7 znajduje się wykaz inhibitorów oraz stężenia, przy których powodują one zahamowanie procesu fermentacji (Institut für Energetik und Umwelt gmbH: 9-10).

Rodzaj inhibitora	Stężenie, przy którym następuje zahamowanie procesu fermentacji
sód	6-30 g/l
potas	powyżej 3 g/l
wapń	2,8 g/l CaCl <sub>2</sub>
magnez	powyżej 2,4 g/l MgCl <sub>2</sub>
amoniak	od 0,15 g/l
jony amonowe	2,7 – 10 g/l
siarka	powyżej 50 mg/l H <sub>2</sub> S, 100 mg/l S <sub>2</sub> <sup>-</sup> , 160 mg/l Na <sub>2</sub> S
metale ciężkie (w formie jonowej)	powyżej 10mg/l Ni, od 40 mg/l Cu, od 130 mg/l Cr, od 340 mg/l Pb, od 400 mg/l Zn

**Tabela 7.** Wykaz inhibitorów oraz stężenia, przy których powodują one zahamowanie procesu fermentacji

### 3.2. Parametry procesu fermentacji

Do najważniejszych parametrów procesu fermentacji zaliczyć możemy obciążenie komory ładunkiem, hydrauliczny czas zatrzymania oraz wydajność procesu.

Przez obciążenie komory rozumiemy masę odpadów wprowadzaną do komory fermentacyjnej w ciągu doby. Aby proces fermentacji przebiegał prawidłowo, dobową ilość ładunku musi być dostosowana do pojemności fermentatora oraz do rodzaju substratu. Przy zwiększeniu ilości ładunku do wartości granicznej proces produkcji biogazu zwiększy się.

sza się. Jeżeli natomiast wartość graniczna zostanie przekroczona następuje przeciążenie komory i spowolnienie produkcji biogazu.

Innym, ważnym parametrem jest hydrauliczny czas zatrzymania substancji w komorze fermentacyjnej. Określa on jak długo substrat powinien pozostawać w komorze, aby uległ całkowitemu rozkładowi. Parametr ten jest ściśle związany z rodzajem podłoża oraz temperaturą, w jakiej przebiega proces. W warunkach mezofilnych substancje organiczne rozkładają się wolniej, wymagają dodatkowego podgrzania, czas retencji jest, więc dłuższy. W warunkach termofilnych zaś proces fermentacji przebiega szybciej a czas retencji jest krótszy.

Wszystkie powyższe parametry wpływają na wydajność procesu fermentacji, czyli na jednostkową produkcję biogazu. Jednostkowa produkcja biogazu definiowana jest jako „objętość metanu wytwarzana w jednostce czasu na jednostkę masy wprowadzonego substratu” (Jędrzak 2007h: 109).

Wszystkie parametry procesu oraz warunki jego przebiegu są starannie dobierane na etapie planowania biogazowni i zależą między innymi od rodzaju biogazowni, a co za tym idzie rodzaju substratów.

## **4. Produkty procesu fermentacji**

### **4.1. Biogaz**

Głównym produktem powstającym podczas procesu fermentacji metanowej jest biogaz. Dyrektywa 2003/30/UE definiuje biogaz jako „paliwo gazowe produkowane z biomasy i/lub ulegającej biodegradacji części odpadów, które może być oczyszczone do jakości gazu naturalnego, do użycia jako biopaliwo lub gaz drzewny”. Biogaz składa się w ok. dwóch trzecich z metanu oraz ok. jednej trzeciej w ditlenku węgla. Poza wspomnianymi gazami w skład biogazu wchodzi również niewielkie ilości wodoru, siarkowodoru, amoniaku oraz innych gazów śladowych. Procentowa zawartość składników biogazu zawiera tabela 8 (Oniszek-Popławska et al. 2003b: 9).

Składnik	Zawartość w %
Metan	52-85
Ditlenek węgla	14-48
Siarkowodór	0,008-5,5
Wodór	0-5
Azot	0,6-7,5
Tlen	0-1

**Tabela 8.** Skład procentowy biogazu

Ilość i skład chemiczny biogazu powstającego w procesie fermentacji metanowej w dużej mierze uzależniony jest od składu chemicznego surowca. Biogaz bogaty w metan można uzyskać wykorzystując substraty bogate w tłuszcze.

Zawartość metanu w biogazie jest czynnikiem warunkującym wartość opałową tego gazu jako paliwa. Im większy jest jego udział, tym większa jest wartość kaloryczna otrzymanego biogazu. Przykładowo biogaz zawierający 65% metanu posiada wartość opałową równą 23 MJ/m<sup>3</sup> (Oniszek-Popławska et al. 2003c: 9).

W przypadku innych składników biogazu na szczególną uwagę zasługuje siarkowodór oraz para wodna. Substancje te, chociaż ich ilość nie jest zbyt duża, znacząco wpływają na eksploatację biogazu jako nośnika energii.

Siarkowodór jest produktem rozkładu białek. Jego zawartość w biogazie powoduje szereg problemów technicznych związanych między innymi z korozją rurociągów czy zbiorników magazynujących. Para wodna zaś poprzez skraplanie się w rurociągach powoduje ich niedrożność. Pozostałe składniki biogazu występują w nim w ilościach śladowych i nie mają większego wpływu na jakość biogazu.

Biogaz, jako odnawialne źródło energii, może być wykorzystany między innymi do:

- produkcji energii elektrycznej i ciepła w jednostkach kogeneracyjnych (skojarzona gospodarka energetyczna lub CHP - Combined Heat and Power CHP),
- produkcji paliwa zasilającego silniki pojazdów.



Wykorzystanie biogazu do powyższych celów niesie ze sobą pozytywne skutki środowiskowe, takie jak ograniczenie emisji gazów cieplarnianych czy zmniejszenie zużycia paliw kopalnych. Biogaz przyczynia się również w znacznym stopniu do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego naszego kraju, wpływając tym samym bezpośrednio na realizację celów zawartych w polityce energetycznej Polski do 2030 roku.

#### 4.2. Wykorzystanie biogazu do produkcji energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu

Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła jest technologią znana i ceniona od dawna. Kogenerację można zdefiniować jako „proces termodynamiczny konwersji energii chemicznej paliw pierwotnych do postaci nośników użytecznych: ciepła, zimna i energii elektrycznej, realizowany w pojedynczych urządzeniach lub grupie wzajemnie połączonych urządzeń (układzie)” (Kalina et al. 2005a: 19).

Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu może być realizowane zarówno w dużych elektrociepłowniach, jak zakładach rozproszonych małej mocy. Główną zaletą małych jednostek produkcyjnych zlokalizowanych blisko odbiorców są niższe koszty produkcji nośników energii jak również niższe koszty energii u odbiorców końcowych. Lokalizacja małych układów kogeneracyjnych w pobliżu odbiorców końcowych pozwala na zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego danego regionu oraz powoduje w znacznym stopniu zmniejszenie strat na przesyłce.

Układy kogeneracyjne są od wielu lat powszechnie budowane w całej Europie. Przewiduje się, że w 2010 roku średni udział energii elektrycznej wytwarzanej w skojarzeniu wyniesie, w krajach Unii Europejskiej, ok. 32% (Kalina et al. 2005a: 19). Również w Polsce w ostatnich latach obserwuje się znaczne zainteresowanie wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu. Według prognoz produkcja energii elektrycznej w wysokosprawnej kogeneracji będzie wzrastać z poziomu 24,4 TWh w 2006 r. do 47,9 TWh w 2030 r. Udział produkcji energii elektrycznej w wysokosprawnej kogeneracji w krajowym zapotrzebowaniu

niu na energię elektryczną brutto wzrośnie z poziomu 16,2% w 2006 r. do 22% w 2030 r.

W prognozie zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku, będącej załącznikiem do Polityki energetycznej Polski do 2030 roku założono rozwój wysokosprawnej kogeneracji ciepła i energii elektrycznej w elektrociepłowniach zawodowych, przemysłowych, elektrociepłowniach lokalnych. Dodatkowo przyjęto, że (E):

- wzrost zapotrzebowania na ciepło w przemyśle będzie pokryty w ok. 60% przez wzrost produkcji ciepła wytwarzanego w kogeneracji w elektrociepłowniach przemysłowych oraz w ok. 40% przez rozwój ciepłowni na gaz i biomasę oraz zakup ciepła sieciowego stosownie do kryteriów ekonomicznych;
- wzrost zapotrzebowania na ciepło sieciowe w pozostałych sektorach gospodarki będzie przede wszystkim pokryty przez kogenerację, przy czym założono, że średnioroczny przyrost mocy elektrociepłowni zawodowych nie przekroczy 200 MWe.

Potencjał rynkowy i ekonomiczny oraz możliwości jego wykorzystania przedstawiono w tabeli 9 (E).

Potencjał OZE	Potencjał ekonomiczny	Potencjał rynkowy do 2020 r.	Potencjał rynkowy do 2030 r.
odpady mokre -biogaz (kogeneracja)	123066 TJ	72609 TJ	80000 TJ
kiszonki kukurydzy -biogaz (kogeneracja)	81638 TJ	81638 TJ	81638 TJ

**Tabela 9.** Potencjał ekonomiczny oraz możliwości jego wykorzystania - potencjał rynkowy energii pochodzącej z biogazu

Obecnie do podstawowych układów kogeneracyjnych wykorzystujących paliwa gazowe, w tym biogaz zaliczamy:

- układy CHP z gazowymi silnikami spalinowymi,
- układy CHP z turbinami i mikroturbinami gazowymi,
- elektrociepłownie gazowo-parowe,
- dwupaliwowe elektrociepłownie gazowo-parowe,

- układy CHP z ogniwami paliwowymi.

#### 4.3. Wykorzystanie biogazu jako paliwa silnikowego

Aby wytworzony biogaz można było wtłoczyć do sieci, lub wykorzystać jako paliwo silnikowe należy go poddać procesowi uzdatniania, w efekcie którego biogazu uzyskuje parametry gazu ziemnego. Technologia oczyszczania biogazu polega w głównej mierze na usunięciu z niego ditlenku węgla, siarkowodoru, siloxanów oraz wody.

Biogaz podawany do sieci gazowej musi spełnić odpowiednie wymagania jakościowe. Dostosowanie biogazu ma miejsce na drodze tzw. procedury uzdatniania w instalacji standaryzującej. Parametry jakościowe, jakie musi spełniać gaz ziemny w Polsce zostały określone w dwóch normach:

- PN-C-04752:2002 – Gaz ziemny. Jakość gazu w sieci przesyłowej.
- PN-C-04753:2002 – Gaz ziemny. Jakość gazu dostarczonego odbiorcom z sieci rozdzielczej.

Obecnie nie ma ujednoczonych, europejskich standardów technicznych, które regulowałyby wprowadzanie biogazu do sieci gazowej. W Komisji Europejskiej trwają obecnie prace nad opracowaniem normy określającej parametry jakościowe dla biometanu. Również w Polsce na stronach Ministerstwa Gospodarki znajduje się projekt rozporządzenia w sprawie potwierdzenia danych dotyczących ilości wytwarzanego biogazu rolniczego wprowadzanego do sieci dystrybucyjnej gazowej. W art. 3 ustęp 1 powyższego rozporządzenia określone są parametry jakościowe biogazu wprowadzanego do sieci dystrybucyjnej. Podobne rozporządzenia funkcjonują już w innych krajach Unii Europejskiej. I tak np. w Niemczech parametry jakościowe dla biogazu opierają się na wymaganiach określonych dla gazu ziemnego. Prawodawca pozwala na wtłaczanie do sieci dwóch rodzajów biogazu: H (High), czyli gazu posiadającego wysoką wartość opałową i L (Low) - posiadającego niską wartość opałową.

W tabeli 10 przedstawiono niemieckie wymagania jakościowe dla biogazu podanego do sieci gazowej (Petersson 2009a: 11).

Parametr	Jednostka	Wartość
Liczba Wobbego	MJ/nm <sup>3</sup>	46,1-56,5 dla gazu <sup>1)</sup> H 37,8-46,8 dla gazu <sup>2)</sup> L
Względna gęstość	-	0,55-0,75
Pył	-	Technicznie wolny
Punkt rosy	°C	<t <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	% obj.	<6
O <sub>2</sub>	% obj.	<3 (w suchej sieci dystrybucyjnej)
S	mg/nm <sup>3</sup>	<30

<sup>1</sup> odnosi się do >97,5% metanu

<sup>2</sup> odnosi się do 87-98,5% metanu

<sup>3</sup>t – temperatura ziemi

**Tabela 10.** Niemieckie wymagania jakościowe dla biogazu wtłaczanego do sieci gazowej

Biogaz jako paliwo silnikowe wymaga również opracowania odpowiednich metod jego magazynowania, aby maksymalnie zwiększyć zasięg pojazdu wykorzystującego to paliwo. Większe ilości biogazu można zgromadzić w zbiorniku o małej objętości pod odpowiednio wysokim ciśnieniem lub też w postaci ciekłego metanu w zbiorniku kriogenicznym (w takich warunkach objętość biogazu jest najmniejsza). Takie rozwiązania są jednak mało opłacalne ze względu na wysokie koszty zbiornika.

Objętość gazu, a zarazem pojemność magazynową można zmniejszyć o 25-30% również poprzez „wypłukanie” ditlenku węgla wodą, pod ciśnieniem 15 barów. Jednak mimo to zapotrzebowanie na pojemność magazynową i tak jest znacznie wyższe, niż w przypadku paliw konwencjonalnych. Usunięcie CO<sub>2</sub> jest ważne również dlatego, że gaz ten zmniejsza moc użyteczną silnika oraz powoduje zmniejszenie zasięgu pojazdu zasilanego biogazem.

O przydatności paliwa do układów CHP decydują również takie parametry, jak wartość opałowa, wartość liczby Wobbego, odporność na spalanie stukowe, prędkość spalania mieszanki paliwo – powietrze oraz zawartość zanieczyszczeń.

Biogaz z przeznaczeniem do pojazdów powinien zawierać przynajmniej 96% metanu, stężenie pary wodnej nie powinno być większe niż  $15 \text{ mg/m}_n^3$ , zaś  $\text{H}_2\text{S}$  nie powinno przekraczać  $100 \text{ mg/m}_n^3$  (Jędrszak 2007i: 181-183). Tabela 11 przedstawiono szacunkową wartość biogazu jako paliwa (Jędrszak 2007j: 181-183).

Paliwo	Wartość energetyczna	Samochód Volvo	Wydajność
<b>Benzyna</b>	$32,2 \text{ MJ/dm}^3$	V70 biopaliwo	$9,8 \text{ km/dm}^3$ = $0,30 \text{ km/MJ}$
<b>Biogaz wzbogacony</b>	$35,9 \text{ MJ/dm}^3$	V70 biopaliwo	$9,6 \text{ km/m}_n^3$ = $0,27 \text{ km/MJ}$
<b>Ropa</b>	$40,7 \text{ MJ/dm}^3$	S60	$13,2 \text{ km/dm}^3$ = $0,32 \text{ km/MJ}$
<b>Biogaz wzbogacony</b>	$35,9 \text{ MJ/dm}^3$	S60 biopaliwo	$10,0 \text{ km/m}_n^3$ = $0,29 \text{ km/MJ}$

**Tabela 11.** Szacunkowa wartość energetyczną biogazu jako paliwa w porównaniu z wybranymi paliwami konwencjonalnymi

## Plazmowe unieszkodliwianie odpadów

### 1. Podstawy procesu plazmowego

Plazma – czwarty stan skupienia – to zjonizowana materia będąca w stanie skupienia przypominającym gaz. Plazma składa się zarówno z cząstek naładowanych elektrycznie, jak i obojętnych, jednak w skali makroskopowej jest elektrycznie obojętna. Ze względu na zakres temperatur, w których występuje plazma możemy ją podzielić na dwa rodzaje (Kyc 2008: 116):

- plazmę zimną ( $4000\text{-}30\ 000 \text{ K}$ ) która powstaje w tzw. plazmotronach, czyli urządzeniach służących do wytwarzania plazmy o wspomnianych zakresach temperatur,
- plazmę gorącą (powyżej  $30\ 000 \text{ K}$ ) występującą we wnętrzu gwiazd lub podczas wybuchów jądrowych.

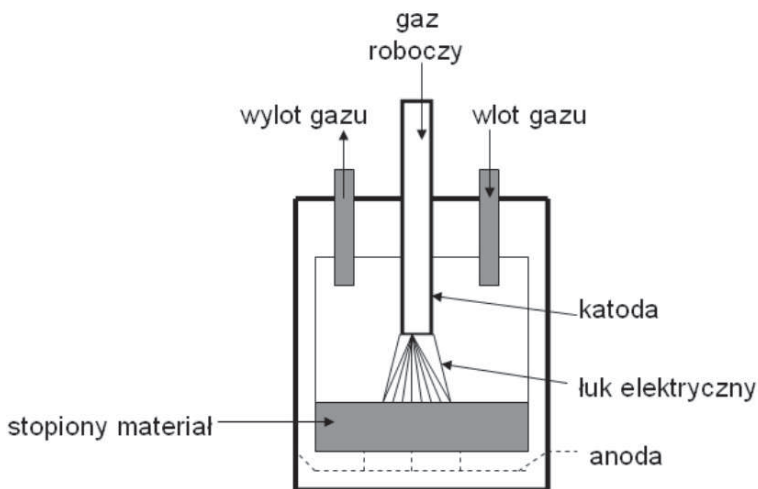
Uzyskanie plazmy o wysokich zakresach temperatur powoduje powstanie nowych możliwości unieszkodliwiania odpadów, jakich nie dają

tradycyjne technologie spalania. Jest to spowodowane możliwością utylizacji odpadów w bardzo wysokich temperaturach dużo wyższych, niż te osiągnięte w zwykłych paleniskach, co z kolei przekłada się na rozkład substancji szkodliwych na prostsze i bezpieczniejsze dla człowieka i środowiska składniki. Technologia plazmowa, dzięki zastosowaniu wysokich temperatur oraz braku dostępu tlenu, pozwala na destrukcję polichlorowanych bifenyli (PCB), dichlorodiuftenylotrichloroetanu (DDT), związków ołowiu, rtęci, kadmu oraz zapobiega powstawaniu dioksyn i furanów.

Technologia plazmowa znajduje zastosowanie w unieszkodliwianiu nie tylko odpadów niebezpiecznych takich, jak skażona gleba, odpady wojskowe czy odpady zawierające PCB czy DDT, ale również na utylizację odpadów komunalnych oraz większości odpadów organicznych.

Istotą neutralizacji i likwidacji aktywnych substancji chemicznych zawartych w odpadach jest wykorzystanie plazmy do atomizacji (czyli rozdziału substancji jednorodnej na elementy podstawowe), utleniania i przekształcania produktów procesu w związki mało bądź nieaktywne (Innowacyjne technologie unieszkodliwiania odpadów 2008: 12). Doprowadzenie do reaktora (Rys. 3), w którym zachodzą procesy plazmowego przekształcania i unieszkodliwiania opadów, tlenu pozwala na pełne utlenienie odpadu oraz otrzymanie produktów końcowych w formie spieku, żużla lub szkła. W tym celu do reaktora wprowadza się również substancje stabilizujące, które wiążą produkty końcowe i powodują ich zespolenie.

Bardzo ważnym produktem powstającym podczas unieszkodliwiania odpadów metodą plazmową jest syngaz czyli gaz syntezowy. Syngaz jest gazem palnym powstającym w procesie syntezy Fischera-Tropscha (synteza F-T). Jest to katalityczna reakcja chemiczna powstawania węglowodorów z mieszaniny tlenku węgla i wodoru. Celem syntezy F-T jest produkcja paliw mających zastosowanie w energetyce oraz transporcie.



Rys. 3. Schemat reaktora plazmowego.

Źródło: Opracowanie własne

## 2. Metoda plazmowa II generacji i koncepcja zielonej elektrowni

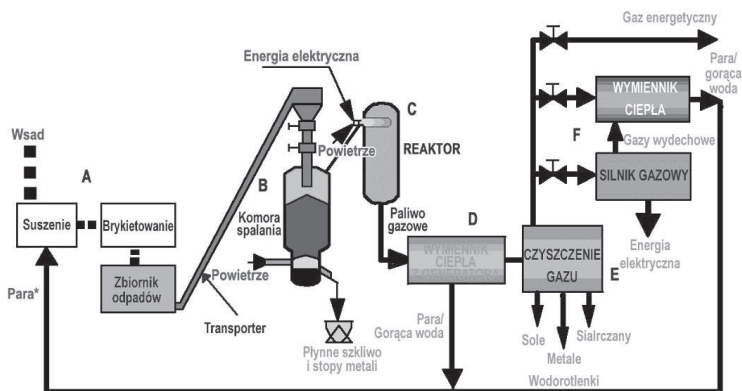
Rozwój technologii plazmowej umożliwił produkcję gazu syntetycznego wykorzystywanego między innymi do wytwarzania energii elektrycznej w sposób bezpieczny dla środowiska. W koncepcji tzw. zielonej Elektrowni rozwijanej przez firmę General Plasma, która działa w oparciu o technologię plazmową II generacji (MPIIG) substratem mogą być odpady zmieszane w postaci biomasy, węgla, węglowodorów, wszelkiego rodzaju odpadów komunalnych i przemysłowych. Cechą charakterystyczną tej metody jest brak konieczności segregacji odpadów przed ich podaniem do reaktora.

W zielonej elektrowni następuje odzyskanie energii wsadu w ok. 97% (Web-01) w postaci syngazu wykorzystywanego do produkcji energii elektrycznej i ciepła, które stanowią końcowy produkt procesu.

Instalacja MPIIG do składu się z pięciu najważniejszych elementów (Rys. 4) (Web-01). Należą do nich:

1. Sekcja przyjęcia i przygotowania wsadu,

2. Sekcja termiczna z generatorem plazmy,
3. reaktor,
4. wymienniki ciepła (schładzania gazu),
5. oczyszczanie gazu,
6. Sekcja energetyczna (produkcja energii elektrycznej lub ciepłej).



Rys. 4. Schemat instalacji MPIIG.

Źródło: <http://www.generalplasma.com.pl>

Wsad stały w postaci odpadów dostarczany jest do sekcji przygotowania i wstępnej obróbki, gdzie jest w zależności od potrzeb jest rozdrabniany (w przypadku surowca o dużych rozmiarach), prasowany lub brykietowany (w przypadku surowca nie przekraczającego 1mm) i przesyłany do gazyfikatora. Wsad płynny nie wymaga obróbki i jest kierowany bezpośrednio do komory gazyfikacji.

Surowiec zarówno w postaci stałej jak i płynnej wprowadzany jest do gazyfikatora przez zespół śluz, które zapobiegają przedostawianiu się za zewnątrz gazów pirolitycznych mogących zawierać substancje szkodliwe. Po wypełnieniu komory substratem z generatora plazmy do gazyfikatora wprowadzony jest gaz o temperaturze sięgającej 3000–5000°C powodując rozkład termiczny nawet najbardziej toksycznych związków.

Powstały podczas procesu pirolizy gaz kierowany jest z reaktora do wymienników ciepła, gdzie podlega chłodzeniu do temperatury ok.



800°C. Ciepło gazu jest odzyskiwane w procesie wymiany ciepła i służy następnie do wytwarzania gorącej wody. Do schładzania wykorzystuje się turbiny parowe produkujące energię elektryczną.

Po schłodzeniu gaz kierowany jest do systemu oczyszczania, który składa się ze skrubera wodnego (wmywanie zanieczyszczeń gazowych głównie chlorowodoru i ditlenku siarki), sorbentu w postaci węgla aktywnego (usuwanie metali ciężkich) oraz filtra elektrostatycznego. Gaz syntetyczny po oczyszczeniu zawiera 60-70% energii z wsadu, natomiast kolejne 20-30% energii wsadu może być odzyskane jako energia cieplna. Ze spalania uzyskanego paliwa gazowego otrzymywana jest 1 kWh/Nm<sup>3</sup>.

Otrzymany gaz w końcowym etapie jest sprężany i gromadzony w zbiornikach magazynujących.

### **Wnioski**

Zagadnienia związane z energetyką odnawialną, w tym również z energetycznym wykorzystaniem odpadów biodegradowalnych i komunalnych są ściśle związane z ochroną środowiska naturalnego oraz z koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego naszego kraju poprzez produkcję energii ze źródeł niekonwencjonalnych. Energetyczne wykorzystanie odpadów daje również możliwość wywiązania się ze zobowiązań, jakie nakłada na nas Unia Europejska w zakresie udziału OZE w całkowitym bilansie energii pierwotnej oraz w zakresie zmniejszenia ilości składowanych odpadów komunalnych ulegających biodegradacji.

Poza korzyściami środowiskowymi istnieje również szereg korzyści ekonomicznych. Instalacje energetycznej przeróbki odpadów reprezentują zazwyczaj generacje rozproszoną, co oznacza, że są zlokalizowane blisko odbiorców końcowych. Taka lokalizacja pozwala na znaczne obniżenie kosztów produkcji energii elektrycznej i ciepła oraz obniżenie kosztów u odbiorców końcowych.

W niniejszej pracy omówione zostały dwie perspektywiczne metody unieszkodliwiania odpadów z jednoczesnym odzyskiem energii: proces fermentacji metanowej oraz technologia plazmowa.

Procesy fermentacyjne są powszechnie znaną na całym świecie metodą utylizacji odpadów organicznych. W wyniku procesu powstaje biogaz będący przyjaznym dla środowiska nośnikiem energii oraz materiał pofermentacyjny, który może stanowić nawóz stosowany następnie w rolnictwie. Substratem do procesu fermentacji metanowej są odpady biologiczne pochodzące z rolnictwa, przemysłu spożywczego czy pielęgnacji zieleni miejskiej oraz osady powstające podczas procesów oczyszczania ścieków.

Technologie plazmowe wykorzystują wysoką temperaturę plazmy sięgającą kilku tysięcy stopni Celsjusza, dzięki czemu wszystkie szkodliwe substancje są neutralizowane i wiązane przy udziale dodatków stabilizujących w żużlu, spieku lub szkła. Produktem procesów plazmowych jest energia elektryczna, ciepło oraz gaz syntezowy, który może służyć do produkcji paliw transportowych.

Zarówno technologia fermentacji metanowej, jak i plazmowa są stosunkowo drogie i wymagają poniesienia wysokich kosztów inwestycyjnych związanych z budową instalacji, jej eksploatacją, a w przypadku „plazmy” również z wysokim zużyciem energii elektrycznej. Mimo to obie technologie cieszą się dużym zainteresowaniem wśród potencjalnych inwestorów i mają szansę stać się jednymi z podstawowych technologii unieszkodliwiania odpadów oraz odzysku energii w nich zawartych.

## Bibliografia

- European Commission, Directorate General Environment, 12 lutego 2001, *Working Document: "Biological treatment of biowaste - 2nd draft"*, Bruksela.
- Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, 2005, *Biogaz - produkcja i wykorzystanie*, Niemcy.
- Jędrzak A., 2007, *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, PWN, Warszawa.
- Kalina J., Skorek J., 2005, *Gazowe układy kogeneracyjne*, WNT, Warszawa.
- Oniszek-Popławska A., Wiśniewski G., Zowski M., 2003, *Produkcja i wykorzystanie biogazu rolniczego*, EC BREC/IBMER, Warszawa.
- Petersson A., Wellinger A., 2006, *Biogas Upgrading to Vehicle Fuel Standards and Grid Injection*, IEA Bioenergy, Szwecja.
- Biernat K., czerwiec 2009, *Bilans energetyczny biogazu w Polsce – metody wykorzystania nagromadzonej w surowcach energii, sporządzanie bilansu energetycznego, planowanie inwestycji pod kątem odbiorców energii, efektywne wykorzystanie zgromadzonego*

*potencjału*, materiały z konferencji „Projektowanie i finansowanie biogazowni na bazie polskiego rolnictwa i przetwórstwa rolno-spożywczego”, Warszawa.  
Stegmann R., 2005, *Anaerobic Digestion and production of biogas*, materiały z Chimatra - Workshop.

### **Akty prawne**

- A) Ustawa o odpadach z dnia 20 kwietnia 2001 r., (Dz. U. Nr 62, poz. 628).
- B) European Commission, Directorate General Environment, Working Document: Biological treatment of biowaste – 2nd draft, Bruksela, 12 lutego 2001 r.
- C) Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów.
- D) Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. z dnia 27 sierpnia 2002 r.).
- E) Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku (Załącznik nr 2 do Polityki energetycznej Polski do 2030 roku), opracowana przez Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2009.
- F) „Innowacyjne technologie unieszkodliwiania odpadów”, Informacja dla Sejmowej Komisji Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2008.
- G) Dyrektywa 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy.
- H) Dyrektywa Unii Europejskiej 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- I) Polityka Energetyczna Polski do 2030 roku, opracowana przez Ministerstwo gospodarki, Warszawa 2009.

### **Witryny internetowe**

- (Web-01) <http://www.generalplasma.com.pl>, dostęp: 11.2010 r.
- (Web-02): <<http://www.agroenergetyka.pl/?a=article&id=7>>, dostęp: 11.2010 r.
- (Web-03): <[http://www.poldanor.com.pl/pl\\_1c\\_4.htm](http://www.poldanor.com.pl/pl_1c_4.htm)>, dostęp: 12.2010 r.

### **SUMMARY**

The aim of this paper is to show municipal and organic waste as an alternative source of energy and the benefits which can bring their energy use. These benefits concern both environmental reasons, as well as freedom from conventional energy sources and increasing energy security. The article discusses the biogas technology and plasma technology as the most promising waste to energy technologies.