

**Tietze, Bernhard / Kotowski,
Włodzimierz / Petrach, Anna i in.**

**Wytwarzanie biogazu z odpadów
gospodarstw rolnych oraz odpadów
komunalnych**

Notatki Płockie 41/2-167, 50-54

1996

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych oraz w kolekcji mazowieckich czasopism regionalnych mazowsze.hist.pl.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach
dozwolonego użytku.

WYTWARZANIE BIOGAZU Z ODPADÓW GOSPODARSTW ROLNYCH ORAZ ODPADÓW KOMUNALNYCH

1. Produkcja biogazu metodą anaerobową

1.1. Wprowadzenie

Dotychczas zakłady wytwarzania biogazu przetwarzały odchody zwierzęce oraz były lokalizowane w miejscach oczyszczalniach ścieków przy anaerobowym przerobie osadów kanalizacyjnych, jak i przy oczyszczaniu ścieków o dużej zawartości związków organicznych.

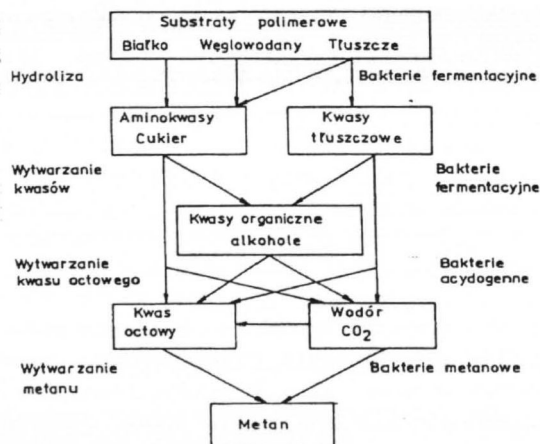
Biologiczno-organiczna frakcja śmieci miejskich była do niedawna obrabiana wyłącznie tlenowo, to znaczy była kompostowana. Wraz z odkryciem w latach osiemdziesiątych reaktorów obiegowych do oczyszczania ścieków, nastąpił rozwój zakładów biogazu (biogazowni), wykorzystujących stałe i szlamowe odpady organiczne tak ze śmieci komunalnych, jak i niekonsumpcyjnych oraz niepazowych części roślin np. z uprawy rzepaku, kartofli itp. W porównaniu do kompostowania ta metoda przerobu wyróżnia się zerową emisją zapachów, zajmowaniem mniejszej powierzchni, korzystniejszym zyskiem energetycznym i zmiennymi możliwościami użytkowania wytworzonego biogazu [1-3].

Powodzenie przy wprowadzeniu produkcji biogazu zależy od uwzględnienia zróżnicowania metody oczyszczania. Dotychczas w Polsce powstaje rocznie około 15 Mg poprodukcyjnych odpadów organicznych głównie z przemysłu spożywczego oraz produkcji rolniczej, co odpowiada ilościowo masie organicznych odpadów domowych (miejskich). Utylizacja tych odpadów nie przysparzała dotychczas większych trudności tylko wówczas, gdy mogła być stosowana jako karma, ale mimo tego trzeba było 60% wag. tych odpadów składować na wysypiskach. Ta sytuacja i zaostrzające się wymogi ochrony środowiska narzucają szerokie stosowanie biotechnologii przy utylizacji odpadów wiejskich oraz miejskich. Kompostowanie tych odpadów bezpośrednio przez ich producentów należy wykluczyć z uwagi na dużą zawartość wody w odpadach i zajmowanie dużej przestrzeni. Spalanie powoduje wprawdzie bardzo duże zmniejszenie objętości, jednakże wymaga znacznych nakładów technicznych i energetycznych. Przerobiana anaerobowa natomiast może być prowadzona na miejscu i okazuje się, że jej realizacja wymaga małej powierzchni oraz umożliwia równoczesną produkcję bardzo taniej energii, możliwej do wykorzystania bezpośrednio w danej wiosce, lub w okolicach

miasta, co jest rozwiązaniem relatywnie niezwykle ekonomicznym [4-8].

1.2. Biochemiczne podstawy przemiany anaerobowej

Bakterie metanowe znajdują się wszędzie tam, gdzie w zamkniętej przestrzeni rozkładana jest masa biologiczno-organiczna, np. w bagnach czy żołądkach przeżuwaczy. Bakterie te są anaerobami, mogą więc żyć tylko w środowisku beztlenowym. Ponieważ zysk energetyczny przy beztlenowym rozkładzie substratu wynosi tylko 1/7 zysku niektórych bakterii tlenowych, bakterie anaerobowe rozmnażają się z odpowiednio większym czasem generowania. W swojej przemianie materii są one skazane na współpracę i symbiozę z innymi bakteriami. Na tej podstawie wytwarzanie metanu zostaje podzielone na trzy fazy, co ilustruje rys. 1. W pierwszym etapie następuje hydroliza związków wysokocząsteczkowych, takich jak węglowodany, tłuszcze i białko do cukru, kwasów tłuszczowych oraz aminokwasów. Następnie związki te są przerabiane przez bakterie acydogenne do kwasów propionowego i masłowego, wody, dwutlenku węgla oraz niższych alkoholi.



Rys. 1. Etapy rozkładu anaerobowego

Z tych ostatnich wytwarzany jest kwas octowy oraz wodór. Te produkty są substratami wyjściowymi dla bakterii metanowych do syntezy metanu. Obie grupy bakterii żyją w ścisłej symbiozie, gdyż metabolizm bakterii acedogennych jest hamowany przez ich produkt - wo-

dór, więc w oczyszczaniu tego środowiska ich "dobroczynną" są bakterie metanowe dla których wodór jest "pokarmem".

1.3. Wymagania dotyczące substratu

Aby umożliwić stabilny proces rozkładu, substrat musi oczywiście zawierać wystarczającą ilość substancji biologiczno-organicznej. Rozkład anaerobowy przebiega szybciej oraz pełniej dla związków niskocząsteczkowych, łatwo rozpuszczalnych, niż wysokodrobinowych biopolimerów. Tym różnią się wyraźnie np. odpady roślinne oraz kuchenne. Odpady roślinne zawierają dużą część trudnorozkładalnej celulozy, podczas gdy odpady kuchenne są bardziej wilgotne, zawierają więcej substancji odżywczych i mają strukturę bardziej podatną do fermentacji.

Substancje hamujące mogą znacznie ograniczyć produkcję bakteryjną, a nawet doprowadzić do unicestwienia bakterii. Przy przerobieniu odpadów z gospodarstw domowych mogą to być zawarte w substracie antybiotyki oraz środki dezynfekcyjne. Generalnie hamująco oraz toksycznie działają metale ciężkie i sole. Z drugiej strony bakterie potrzebują do swojego wzrostu soli pokarmowych oraz mikroelementów śladowych. Jeżeli istnieją wątpliwości co do kwalifikacji substratu, należy je wyjaśnić w badaniach wstępnych.

1.4. Parametry procesowe

W drodze ewolucji uzyskuje się różne szczepy bakterii metanowych, które preferują różne temperatury swego maksymalnego rozwoju. Podwyższoną produkcję biogazu realizuje się w następujących zakresach temperatur:

- mezofilowy 32 - 50°C
- termofilowy 50 - 70°C

Aby utrzymać w reaktorze temperaturę termofilową konieczny jest duży nakład energetyczny oraz techniczny. Również pod względem biologicznym proces termofilowy przebiega niestabilnie i z tych względów większość biogazowni pracuje w zakresie mezofilowym.

Na wsiach można znaleźć zakłady produkcji biogazu nawet w temperaturach około 15°C.

Bakterie pierwszej fazy (porównaj: rys. 1) preferują środowisko lekko kwaśne, podczas gdy bakterie metanowe pracują stabilnie w środowisku obojętnym. Ponieważ "producenci kwasów" rozwijają się szybciej, dlatego wartość pH może na krótko spaść, przez co produkcja metanu obniży się, gdyż substrat wykazuje tylko niewielką pojemność buforową.

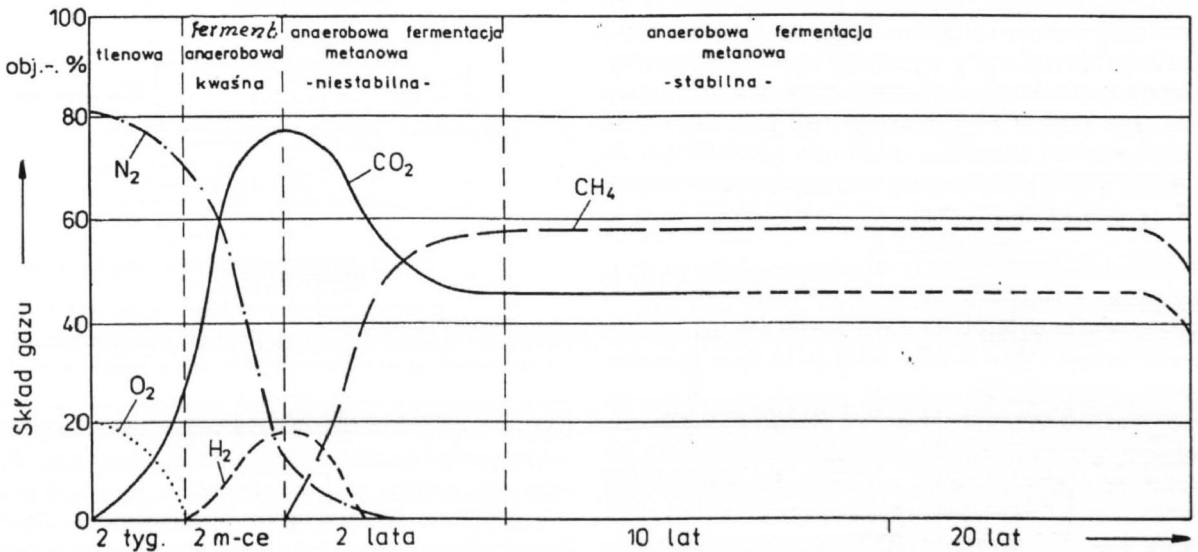
1.5. Czas przebywania

Czasokres przebywania zależy od temperatury, stężenia substratu w reaktorze, ilości bakterii w jednostce objętości, biomasy oraz żądanego stopnia rozkładu. Etapowy przebieg metanizacji w zależności od czasu ilustruje szczegółowiej rys. 2.

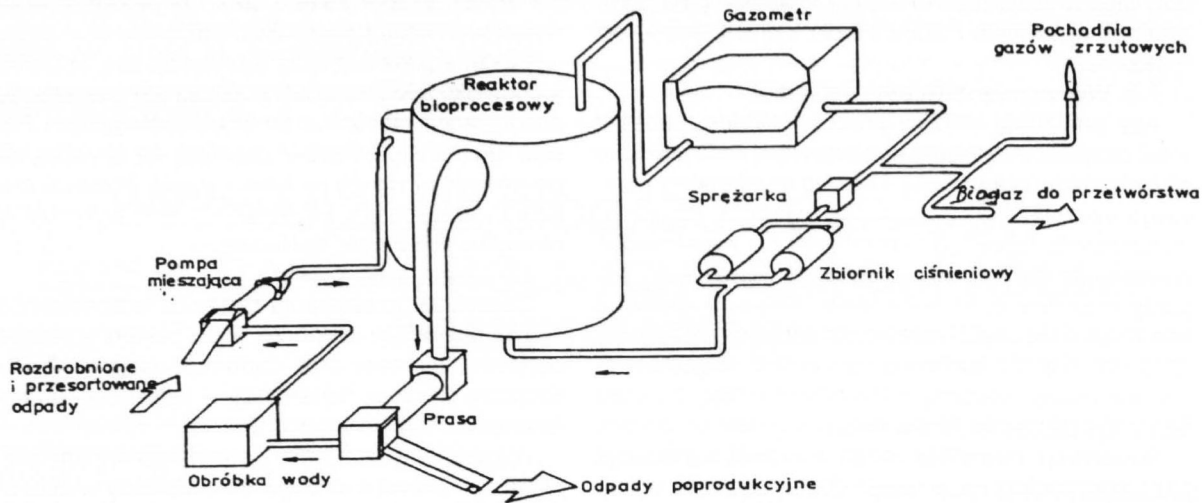
Wspomniany wcześniej powolny rozwój bakterii narzuca konieczność wzbogacania biomasy w celu skrócenia czasu przebywania. Można to osiągnąć przez unieruchomienie na materiale nośnym w złożu stałym lub kontaktowym, albo poprzez zawracanie szlamu względnie wody procesowej. Dodawanie nieaktywnego stałego wypełnienia lub inertych cząstek, na których bakterie będą zatrzymywane siłami adhezji, jest możliwe tylko w wypadku oczyszczania ścieków, gdyż przy dodaniu odpadów stałych lub szlamowych złoża stałe może zostać zaczopowane, a nośniki ze złoża kontaktowego mogą być powrane poza układ reakcyjny.

1.6. Rozruch biogazowni

Biocenoza bakterii anaerobowych w reaktorach opiera się na mniejszej liczbie gatunków, niż przy metodzie aerobowej i musi być wytwarzana w fazie rozruchu. Dlatego faza wstępna metody anaerobowej trwa dłużej i później osiągnięta jest pełna moc produkcyjna biogazowni. Z drugiej strony przy dłuższej, niezakłóconej pracy instalacji i wprowadzeniu substratów homogenicznych przez adaptację bakterii, powstaje możliwość zwiększenia wydajności rozkładu substratu.



Rys. 2. Skład deponowanego gazu podczas rozkładu śmieci domowych.



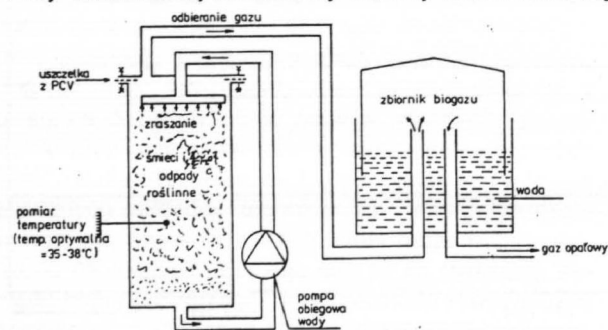
Rys. 3. Schemat instalacji metanizacji firmy Vatorga

2. Warianty metod

Metoda anaerobowa była dotychczas stosowana głównie do oczyszczania ścieków i szlamów zawierających związki organiczne. Jednakże w obecności znanych reaktorów przy organicznych odpadach przemysłowych, śmieciach mokrych oraz pochodzenia biologicznego może dojść przez tworzenie osadów sedymentacyjnych i pływających do zatykania instalacji. Na podstawie dotychczasowych badań autorów można przedstawić trzy główne rozwiązania tego problemu:

Przy suchej fermentacji substrat z zawartością substancji suchej do 65% wag. zostaje sfermentowany, podczas gdy w fermentacji mokrej z wodą zostaje przerobiony do szlamu substrat z zawartością substancji suchej około 10% wag.

Przy dwustopniowej fermentacji mokrej substancje stałe podlegają w pierwszym etapie hydrolizie, w której większość związków organicznych zostaje rozpuszczona w wodzie i ten roztwór przerabia się następnie w konwencjonalnych reaktorach anaerobowych. W fermentacji mokrej spodziewane są korzyści w postaci małego zużycia wody i wysokiego stopnia obróbki w komorze fermentacyjnej. Fermentacja mokra, zobrazowana rysunkami nr 3 i 4 wykazuje mało problemów z zastosowaniem suspensji, możliwym oddzieleniem zawieszin w fazie przepływowej oraz zawracaniem szlamu. Przy dwufazowej fermentacji mokrej oczekiwane są



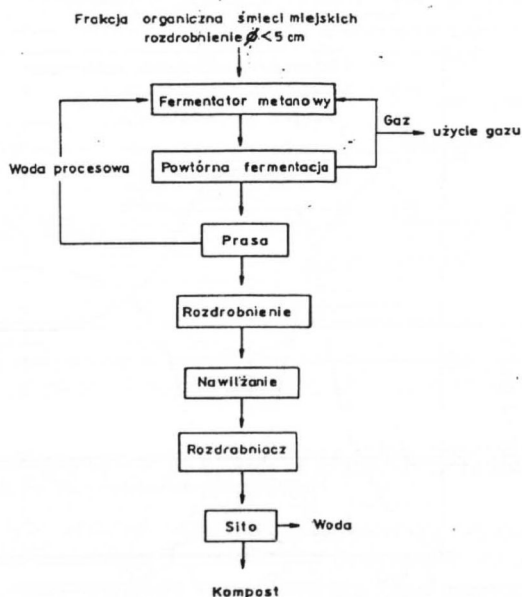
Rys. 4. Doświadczalna instalacja metanizacji do obróbki śmieci miejskich oraz odpadów roślinnych

większe wydajności, dzięki możliwości ustalenia dla rozdzielonych faz optymalnych warunków. Powstający biogaz z większą zawartością metanu jest bardziej wartościowy, ponieważ przeważający w fazie hydrolizy dwutlenek węgla zostaje usunięty.

2.1. Metoda fermentacji suchej

W metodzie Valorga, która po małym zakładzie pilotowym została zastosowana na skalę przemysłową tylko we Francji w biogazowni o przerobie 110 000 Mg/rok odpadów (licząc na suchą masę). Tu przerabiane są odpady komunalne z wysoką wydajnością.

Podczas przygotowania lekka frakcja zostaje wytrącona i poddana wysokotemperaturowemu spalaniu, przy czym do pieca wprowadza się równolegle wydzielony złom oraz substancje ciężkie. Rozdrobniona do rozmiarów 8 - 10 cm reszta, z 35% zawartością wody, wprowadzana jest do fermentatora. W ciągu 14 dni przy temperaturze powyżej 36°C zawartość reaktora zostaje



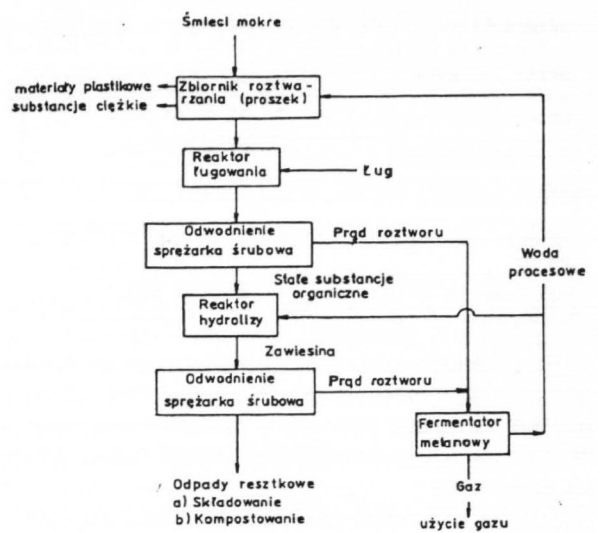
Rys. 5. Schemat fermentacji suchej (tzw. metoda Dranco)

wymieszana wytworzonym biogazem. Dlatego w reaktorze niepotrzebne są urządzenia mechaniczne. Po opuszczeniu reaktora substrat zostaje osuszony, rozdrobiony, przesiany i skompostowany. Woda zostaje zawrócona do obiegu. Firma Valorga planuje przestawienie reaktora na system termofilowy, aby osiągnąć większą przepustowość.

Metoda Dranco, zilustrowana na rys. 5, różni się tylko nieznacznie od powyższej. Zawartość reaktora, pracującego w systemie mezofilowym, w czasie 12 - 18 dni pracy po załadowaniu nie podlega mieszaniu, a substrat poddany jest przez 2 - 4 dni ponownemu odfermentowaniu, zanim zostanie odwodniony oraz rozdrobiony.

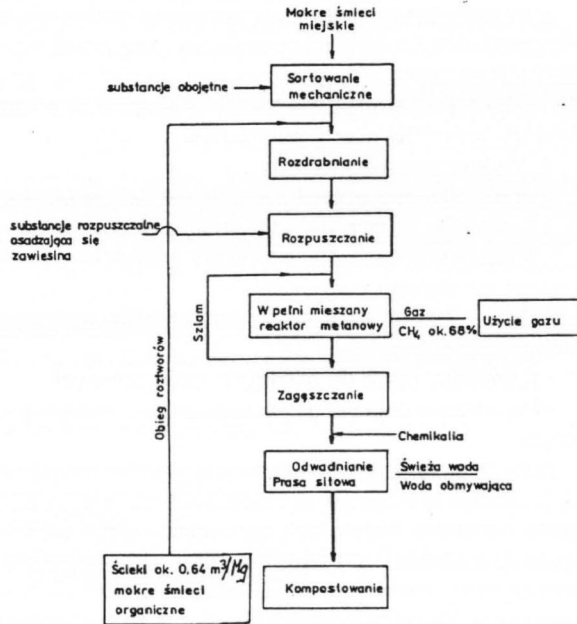
2.2. Fermentacja mokra

W projekcie pilotażowym firmy Rottweil, przedstawionym na rys. 6, substrat wyjściowy (odpady pochodzenia biologicznego) jest rozdrabniany i mieszany z wodą do zawartości 85 - 90% wag. W tym etapie rozpuszczania oraz mieszania zostają usunięte substancje koloidalne i osady. Odpady biologiczne ulegają fermentacji w mezofilowym zakresie temperatur w reaktorze stałym o pojemności 45 m³, podlegając ciągłemu mieszaniu. W końcu substraty zostają odwodnione do 38% zawartości substancji mokrej oraz kompostowane.



Rys. 7. Schemat dwustopniowej fermentacji mokrej

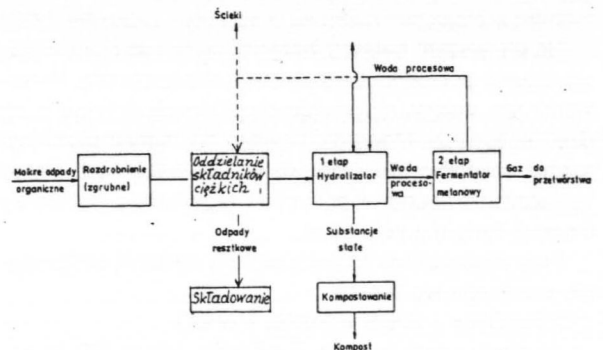
czynymi, są przerabiane anaerobowo w reaktorze kontaktowym. Odwodniona substancja stała jest następnie kompostowana. Obecnie ta biogazownia jest przestawiana oraz modyfikowana na wsad odpadów biologicznych. W procesie firmy AN-Maschinenbau, ukazanym na rys. 8, obróbka przebiega według podobnego schematu, w którym masa organiczna w fazie hydrolyzy jest rozpuszczana w wodzie obiegującej i przerabiana w reaktorze metanowym. Do hydrolizatora zostaje wprowadzony grubo rozdrobiony materiał. Przy nieciągłej produkcji nieprzereagowany materiał zostaje usunięty po 10 dniach.



Rys. 6. Schemat instalacji pilotowej firmy Rottweil

2.3. Dwustopniowa fermentacja mokra

W metodzie tej (określanej jako metoda BTA), której schemat ilustruje rys. 7, wprowadzane są mokre odpady rozdrobione przy rozcieńczeniu wodą do konsystencji proszku, a następnie rozcieńczane do zawartości 90% wag. wody. Zanim zostaną rozdzielone fazy na pompie śrubowej, zostaje dodany ług sodowy, aby chemicznie przyspieszyć rozpuszczanie biopolimerów. Prąd substancji stałych, po przebywaniu w hydrolizatorze przez 2 - 4 dni, zostaje ponownie odwodniony. Obie fazy ciekłe, wysoce nasycone związkami organi-



Rys. 8. Schemat dwustopniowej fermentacji mokrej firmy AN-Maschinenbau

3. Produkty końcowe

Ilość oraz jakość wytworzonego biogazu zależy silnie od właściwości fizyko-chemicznych wsadu. Większość technologii znajduje się wciąż jeszcze w fazie udoskonalenia procesowych i rozwoju, trudno jest dziś znaleźć pewną odpowiedź na pytanie o oczekiwaną wydajność procesową. Dotychczas osiągnięte ilości otrzymywanego gazu na badawczej instalacji autorów wg rys. 4, leżą w granicach 220 - 190 Nm³ z Mg substratu, a wszystkich innych, scharakteryzowanych w niniejszej rozprawie mieszczą się w granicach 160 - 250 Nm³/Mg odpadów. Średni skład biogazu przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Skład biogazu

Metan	40 - 70% obj.
dwutlenek węgla	25 - 60% obj.
azot	0 - 7% obj.
tlen	0 - 0,2% obj.
wodór	0 - 1% obj.
siarkowodór	0 - 1% obj.

Przy wsadzie określonych odpadów mogą dochodzić niewielkie ilości halogenowęglowodorów. Tabela 2 ukazuje natomiast zestawienie otrzymywania metanu oraz zbieranego gazu z uwzględnieniem rodzaju surowca wsadowego.

Tabela 2

Porównanie ilości uzyskiwanego biogazu oraz metanu z uwzględnieniem substratu wsadowego

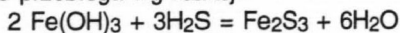
Frakcja wsadowa	Produkcja metanu; dm ³ /kg	Ogólna produkcja biogazu; dm ³ /kg
śmieci domowe	97	172
papier gazetowy	94	168
mieszanka papieru	110	201
trociny	25	45
odpady ogrodowe	60	95
trawa	216	386
liście	75	130
rośliny	295	350

3.1. Obróbka gazu

Biorąc pod uwagę przeznaczenie oraz zawartość metanu, otrzymywany biogaz wymaga oczyszczenia z truczyn środowiska, a poza tym można wzbogacić zawartość metanu w biogazie - najefektywniej przy użyciu membran.

Na pierwszym miejscu instalacji oczyszczania stoi odsiarczanie, ponieważ bezbarwny, ostro cuchnący siarkowodór jest trujący, a spalając się powoduje korozję urządzeń kotłowych. Powstały bowiem dwutlenek siarki jest równie szkodliwy dla środowiska. Dla wszystkich metod odsiarczania cechą wspólną jest regeneracja substancji czynnej tlenem z powietrza.

Przy odsiarczaniu za pomocą rudy żelaznej odsiarczanie przebiega wg reakcji



do pirytu i pary wodnej. Z siarczku żelaza (III) za pomocą tlenu wytwarza się z powrotem wodorotlenek żelaza (III) i wydziela się siarka elementarna.

W metodzie adsorbcyjnej zaadsorbowany na węglu aktywnym siarkowodór przereagowuje z tlenem do siarki

elementarnej oraz wody. W oksydacyjnym przemywaniu gazu, siarkowodór zostaje utleniony przez kompleksowe związki żelaza do wolnej siarki, która odkłada się jako szlam. Możliwe jest również mikrobiologiczne utlenianie siarkowodoru w reaktorze z cienkowarstwową strefą reakcyjną na wiązce chłodzonych rur.

Halogenopochodne węglowodorów usuwa się na filtrach z węglem aktywnym.

3.2. Wzbogacanie w metan

Oddzielenie dwutlenku węgla od metanu jest przykładowo przy planowanym użytkowaniu gazu w publicznej sieci gazu ziemnego nie doobejścia. W tym celu do dyspozycji stoją trzy metody:

a. W metodzie absorpcyjnej podczas przemywania monometanoloaminą. Obok dwutlenku węgla zostaje usunięty również siarkowodór. Do roztworu przechodzą również kwaśne węglany i kwaśne siarczany, które mogą być z niego desorbowane przez podwyższenie temperatury oraz obniżenie ciśnienia.

b. Przy zwrotnej adsorpcji ciśnieniowej wykorzystuje się różnice w prędkości adsorpcji gazów na węglowych sitach molekularnych. Po powodującej adsorpcję stopniowym zwiększaniem ciśnienia, następuje desorpcja na drodze dekompresji. Przy końcowej ewakuacji zostaje głównie usunięty dwutlenek węgla, ponieważ ten jako pierwszy w przeciwieństwie do metanu utlenia się.

c. W metodzie membranowej separację gazów osiąga się dzięki różnej zdolności przenikania gazu przez błony półprzepuszczalne. Wcześniej należy usunąć siarkowodór, gdyż ten uszkadza membrany wykonane z: octanu celulozy, silikonów oraz poliwęglanów.

4. Wykorzystanie biogazu

Aktualnie biogaz znalazł następujące zastosowania:

- Spalany w kotłach dla wytwarzania ciepła.
- Spalany w kotłach, sprzężonych z agregatami ciepłota energia elektryczna.
- Do napędu silników samochodowych (w stalowych butlach ciśnieniowych).
- Kierowany bywa do otwartych sieci gazowych.
- Przerabiany poprzez gaz syntezowy do produkcji metanolu.

Dwa ostatnie przypadki wymagają wielkich biogazowni, a takowe pracują już w Niemczech na terenie Stuttgartu Karlsruhe. Największą sprawność osiąga się przy spalaniu w silnikach gazowych w "sprzężeniu ciepło-siła", przy czym wytwarzana energia elektryczna bywa nie tylko stosowana dla potrzeb własnych, ale może być przekazywana do sieci ogólnokrajowej.

Literatura

[1.] SPENDLICH H.-H., STEGMANN R.: Anaerobe Behandlung von Biomüll; Müll und Abfall (1988) 5, 185-200.
 [2.] MAUER M., WINKLER J.P.: Biogas. Theoretische Grundlagen, Bau und Betrieb von Anlagen. Karlsruhe, 1982.
 [3.] KUMPF W., MAAS K., STRAUB H.: Müll- und Abfallbeseitigung; Müll-Handbuch, Berlin: E.-Schmidt-Verlag.
 [4.] MILLER C.W.: Aufgaben der technischen Abfallbehandlung. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 38 (1988) 9, 692-696.
 [5.] HEIGL F.: Moderne Müllverbrennungsanlagen. Berlin: E.-

Schmidt-Verlag, 1968.
 [6.] TABASARAN O.: Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft; Berlin: E.-Schmidt-Verlag.
 [7.] UMWELTBUNDESAMT: Daten zur Umwelt 1988/89. E.-Schmidt-Verlag, 1989
 [8.] RETTENBERGER G.: Deponietechnik. Stand und Entwicklungstendenzen. Abfallwirtschaftliches Seminar der Universität Stuttgart, 1989.