

# BIOGAZ ROLNICZY

**Opracowanie:**

Stowarzyszenie Gmin Turystycznych Pojezierza Gostynińskiego

**Zdjęcia:**

Archiwum Stowarzyszenia Gmin Turystycznych Pojezierza Gostynińskiego

## 1. Biogaz rolniczy. Produkcja i wykorzystanie w gospodarstwie.

### 1.1. Biogaz rolniczy.

Biogaz wytwarzany jest w procesach biochemicznych nazywanych beztlenową fermentacją metanową. Związki organiczne pochodzenia naturalnego, takie jak: węglowodany, celuloza, skrobia, cukry, białka, tłuszcze roślinne i zwierzęce rozkładane są do metanu i dwutlenku węgla. Ten szeroko rozpowszechniony w przyrodzie proces zachodzi w glebie, osadach dennych, torfowiskach, bagnach, mokradłach (gaz błotny), na dnie stawów, jezior, mórz, w gnojowicy oraz w żwaczach przeżuwaczy np. bydła. Masa organiczna konwertowana jest na biogaz i oprócz tego wytwarzana jest dodatkowo niewielka ilość nowej biomasy. Przemianie tej towarzyszą endotermiczne procesy energetyczne. Biogaz może być wytwarzany:

- na wysypiskach odpadów komunalnych (gaz wysypiskowy),
- w oczyszczalniach ścieków komunalnych,
- w biogazowniach rolniczych.

Biogaz jest mieszaniną metanu i dwutlenku węgla, produkowany jest przez mikroorganizmy w warunkach beztlenowych. Główne składniki biogazu to metan (50-75%), dwutlenek węgla i woda. Występują w nim również śladowe ilości: azotu, amoniaku, siarkowodoru, tlenu węgla, merkaptanów, alkoholi, ketonów, estrów, silanów, siloksanów, chlorowanych związków organicznych i wodoru.

#### 1. Tabela 1. Średnie zawartości składników biogazu.

Składnik	Zawartość
Metan (CH <sub>4</sub> )	50 – 75%
Dwutlenek węgla (CO <sub>2</sub> )	25 – 45%
Woda (H <sub>2</sub> O)	2 – 7%
Siarkowodór (H <sub>2</sub> S)	20 – 20 000 ppm*
Azot (N <sub>2</sub> )	< 2%
Tlen (O <sub>2</sub> )	< 2%
Wodór (H <sub>2</sub> )	< 1%

\*) 1 ppm – jedna cząsteczka związku na milion cząsteczek biogazu.

Podstawowe kwestie związane z odnawialnymi źródłami energii (OZE) w naszym kraju reguluje ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne. W ustawie tej podana jest również definicja biogazu rolniczego. W art. 3 pkt 20 lit. a ustawodawca przedstawił następującą definicję: biogaz rolniczy – paliwo gazowe otrzymywane z surowców rolniczych, produktów ubocznych

rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych lub pozostałości przemysłu rolno-spożywczego lub biomasy leśnej w procesie fermentacji metanowej.

Należy pamiętać, że chcąc skorzystać ze wszystkich udogodnień, przywilejów i profitów wynikających z faktu produkcji biogazu rolniczego, trzeba spełnić podstawowy wymóg ustawy, czyli produkować go z odpowiednich, dopuszczonych przepisami substratów.

Najważniejszym wskaźnikiem jakości biogazu jest ilość zawartego w nim metanu (procentowa zawartość metanu w mieszaninie gazów). To z metanu pochodzi cała odzyskiwana w późniejszym czasie energia. Ważną sprawą, dla czystości biogazu, jest zawartość siarkowodoru, mimo stosunkowo niewielkiej jego ilości, w porównaniu do pozostałych składników. Zbyt duża ilość siarkowodoru wpływa negatywnie na sam proces wytwarzania biogazu, jak również powoduje zwiększoną korozję układów kogeneracyjnych (silnik spalinowy), kotłów grzewczych lub armatury i przewodów. Zbyt duża zawartość w spalonym biogazie uwidoczni się przekroczeniem normy zawartości dwutlenku siarki w spalinach.

Do decydujących czynników wpływających na ilość i jakość otrzymywanego biogazu należą:

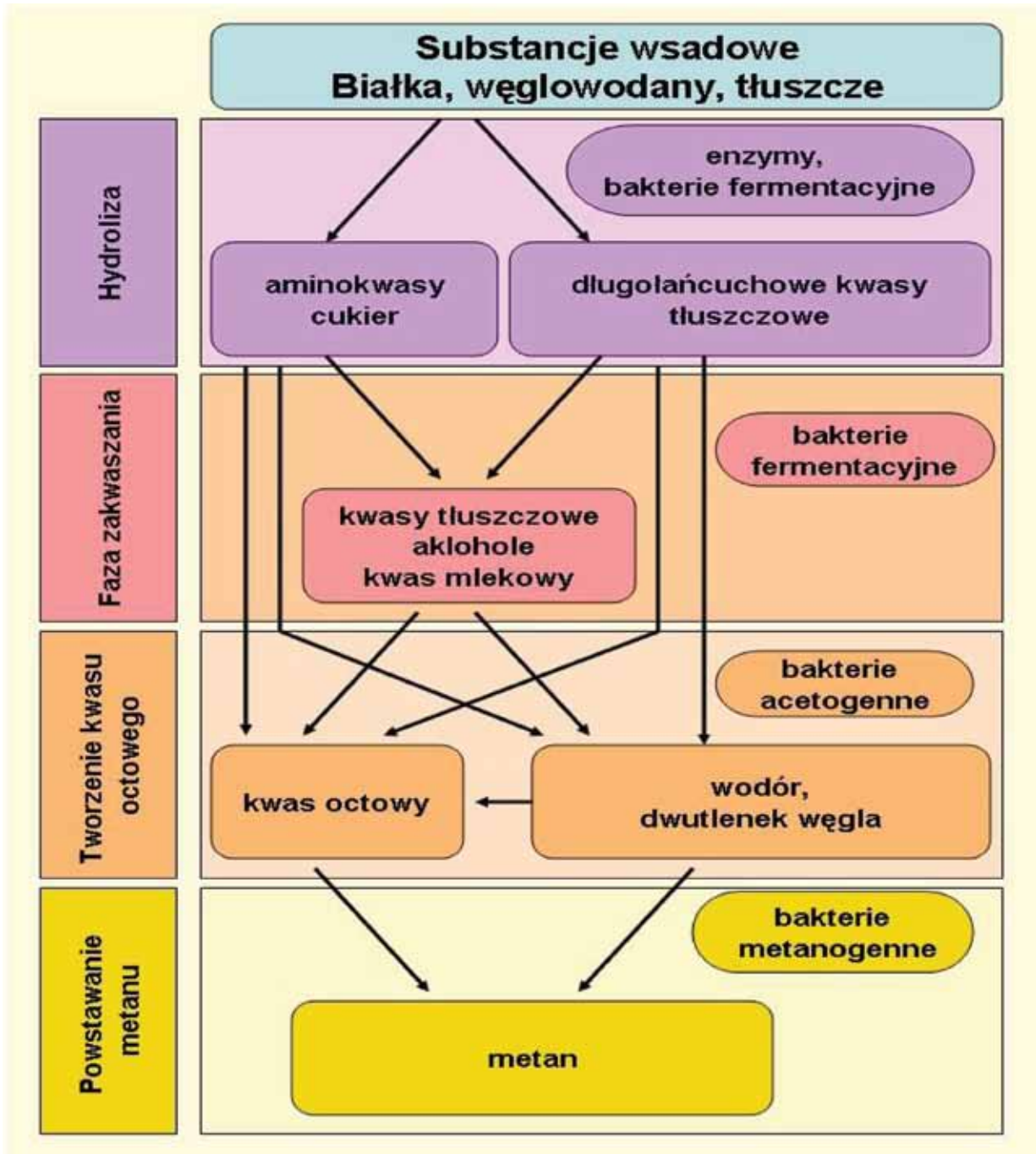
- rodzaj i ilość substratów poddanych procesowi fermentacji,
- temperatura, w której przebiega fermentacja,
- efektywność mieszania fermentowanej biomasy,
- czasu trwania procesu.

Biogaz o zawartości metanu powyżej 40% może być wykorzystywany do celów użytkowych – głównie do uzyskiwania energii. Najpopularniejszymi sposobami wykorzystania biogazu są:

- produkcja energii w silnikach iskrowych (spalinowych),
- produkcja energii cieplnej w przystosowanych kotłach gazowych (spalanie biogazu),
- produkcja energii elektrycznej i cieplnej w układach skojarzonych (kogeneratorach),
- wykorzystywanie biogazu, jako paliwa do napędzania pojazdów (CNG),
- wykorzystanie biogazu w procesach technologicznych (np. przy produkcji metanolu, sadzy).

## 1.2. Fermentacja metanowa

Fermentacja metanowa jest procesem rozkładu substancji organicznych przez różnorodne szczepy bakterii. Aby proces zachodził z optymalnym efektem, należy znajdującym się tam szczepom bakteryjnym stworzyć odpowiednie warunki do ich istnienia obok siebie. Głównie chodzi tu o odpowiednią ilość i jakość substancji odżywczych (substratów procesu), temperaturę oraz wilgotność, w której się odbywa proces rozkładu.



Rys. 1. Fazy procesu fermentacji metanowej.

Proces fermentacji zachodzi w czterech fazach z udziałem w każdej fazie odmiennych szczepów bakterii:

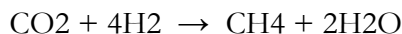
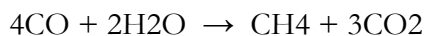
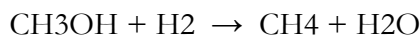
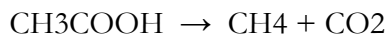
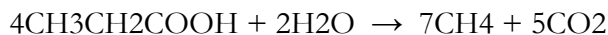
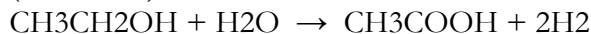
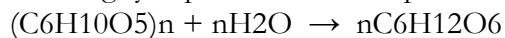
Faza I - hydroliza (uwodnienie): enzymy bakterii hydrolitycznych upłynniają substancje organiczne do substancji prostych tj. aminokwasów, kwasów tłuszczowych, alkoholi oraz monosacharydów (cukrów prostych);

Faza II– acidogeneza: bakterie metabolizują produkty hydrolizy do lotnych kwasów tłuszczowych, etanolu i produktów gazowych, a towarzyszący acidogenezie gaz zawiera ok. 80% dwutlenku węgla i 20% metanu;

Faza III– acetogeneza: grupa bakterii octanogennych rozkłada kwasy tłuszczowe do kwasu octowego, octanów, dwutlenku węgla i wodoru;

Faza IV– metanogeneza: w czasie której następuje przemiana kwasu octowego do metanu i dwutlenku węgla, a dwutlenku węgla i wodoru do metanu.

Przebieg tych procesów można przedstawić za pomocą następujących reakcji:



Na przebieg procesu fermentacji metanowej wpływ mają czynniki fizyczne, chemiczne i biologiczne. Do najważniejszych czynników fizycznych zalicza się:

- temperaturę,
- hydrauliczny czas zatrzymania,
- mieszanie,
- zawartość suchej masy,
- rodzaj biomasy.

Do najważniejszych kontrolowanych w czasie fermentacji biomasy czynników chemicznych i fizyczno-chemicznych zalicza się:

- stężenie jonów wodorowych pH,
- potencjał elektrochemiczny,
- zasadowość,
- kwasowość,
- zawartość lotnych kwasów organicznych,
- zawartość pierwiastków śladowych,

- chemiczne zapotrzebowanie tlenu,
- biologiczne zapotrzebowanie tlenu,
- zawartość związków toksycznych.

### 1.3. Temperatura procesu fermentacji

Temperatura reaktora, w której zachodzi fermentacja ma wpływ na ilość uzyskiwanego biogazu, prędkość rozkładu biomasy, stabilność procesu i jakość wytwarzanej pozostałości pofermentacyjnej. Przekłada się to bezpośrednio na możliwość do uzyskania ilości i jakości biogazu.

Proces fermentacji w warunkach naturalnych może zachodzić praktycznie w temperaturze od 4 do 98 °C.

W procesach wykorzystywanych przez człowieka, można wyróżnić trzy zakresy optymalnych temperatur:

- dla bakterii psychrofilowych: 20 - 25 °C
- dla bakterii mezofilowych: 37 - 42 °C
- dla bakterii termofilowych: 55 - 60 °C.

Wraz ze wzrostem temperatury rośnie szybkość procesów konwersji biomasy, ale spada stabilność procesu. Przykładowo, jeżeli w temperaturze 55°C zaszła konwersja biomasy w ciągu kilku dni, to taki sam stopień konwersji zostanie osiągnięty w temperaturze 37°C w ciągu kilkunastu tygodni, zaś w temperaturze 20°C w ciągu kilkunastu miesięcy. Wyższa temperatura wpływa na stopień rozkładu związków organicznych oraz wyginięcie mikroorganizmów patogennych. Ilość energii potrzebnej na utrzymanie reakcji w temperaturze 55°C jest o 120% wyższa niż w procesie mezofilowym, jest to kompensowane kilkakrotnym wzrostem produkcji biogazu.

Ilość wyprodukowanego biogazu z użyciem bakterii psychrofilowych przy niskiej zawartości biomasy nie wystarcza na pokrycie ciepła potrzebnego na ogrzanie komór fermentacyjnych.

### 1.4. Hydrauliczny czas zatrzymania

Czas, w którym biomasa podlega fermentacji musi być optymalny. Sterując procesem fermentacji metanowej należy wybrać taki czas jej trwania, aby przy wymianie zawartości komory fermentacyjnej (przez podawanie dziennych porcji świeżej biomasy) nie dochodziło do usuwania większej ilości bakterii niż zdąży się w tym okresie namnożyć. Niektóre szczepy bakterii metanogennych potrzebują 10 lub więcej dni na podwojenie swojej ilości. Natomiast przy zbyt krótkim czasie hydrolizy biomasy bakterie metanogenne nie zdążą rozłożyć całej ilości zhydrolizowanych związków chemicznych na biogaz. Wtedy następuje zakwaszenie układu. Obserwowana jest produkcja substancji, które uniemożliwiają dalszą fermentację metanową wytworzonych półproduktów.

Znając objętość komory fermentacyjnej oraz rodzaj zastosowanych substratów (znając ich charakterystyczną prędkość rozkładu) możemy obliczyć optymalny czas, w jakim powinny one przebywać w komorze fermentacyjnej.

### 1.5. Mieszanie masy fermentującej

Do uzyskania dużej ilości biogazu z fermentowanej biomasy koniecznym jest dostarczenie bakteriom pokarmu w odpowiedniej ilości. Mieszanie fermentowanej biomasy sprzyja dostarczeniu bakteriom pokarmu. Mieszanie masy fermentowanej spełnia wiele funkcji. Przede wszystkim zapewnia bakteriom lepszy kontakt z podłożem. Z biegiem czasu, fermentowana biomasa w komorze fermentacyjnej ulega rozwarstwieniu. Wynika to z różnych gęstości poszczególnych jej składników. Cięższe frakcje, o większej gęstości, osadzają się bliżej dna, a lżejsze flotują i tworzą górną warstwę. Rozwarstwienie takie utrudnia bakteriom kontakt z pokarmem. Często dochodzi również do zestalenia się górnej warstwy, co uniemożliwia uwalnianie biogazu i może doprowadzić do znacznego spowolnienia procesu fermentacji. Intensywność mieszania musi być optymalna. Należy pamiętać, że bakterie octowe i metanowe tworzą zwarte skupiska, w których żyją, więc zbyt intensywne mieszanie może doprowadzić do zniszczenia tych skupisk a w efekcie doprowadzić nawet do zatrzymania procesu.

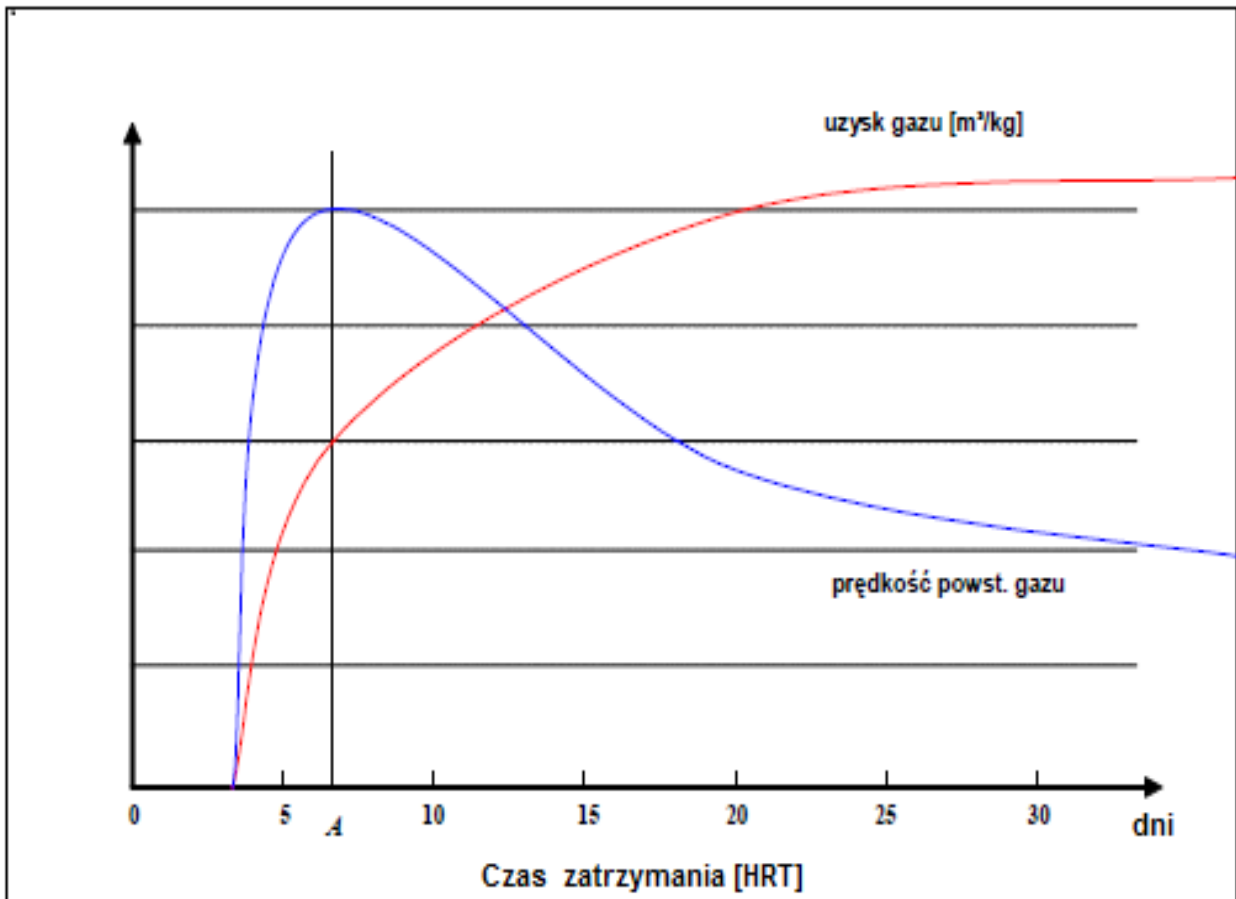
### 1.6. Zawartość suchej masy

Przy zbyt wysokiej zawartości suchej masy (s.m.) bakterie mają utrudniony dostęp do organicznych składników odżywczych, a co za tym idzie będą rozkładać biomasę w ograniczonym zakresie. Przy przekroczeniu granicznej, wynoszącej ok. 60% zawartości s.m., może dojść do całkowitego zatrzymania procesu z powodu braku wilgoci koniecznej do wzrostu komórek bakteryjnych. Przy takiej zawartości s.m., czyli małej ilości wilgoci, może znacznie wzrosnąć w ciekłej fazie stężenie inhibitorów (antybiotyki, środki ochrony roślin, amoniak), które działają hamująco na proces fermentacji. Prawidłowy poziom s.m. utrzymuje się dodając odpowiednie ilości wody, rozcieńczonej gnojowicy lub cieczy pochodzącej z odfiltrowania masy pofermentacyjnej.

### 1.7. Rodzaj biomasy

O przydatności danego rodzaju biomasy i uzyskania z niej odpowiedniej ilości biogazu decyduje zawarta w niej ilość rozkładalnej suchej masy organicznej (s.m.o.). Podaje się jej ilość w jednostce objętości lub jednostce masy. Zawartość s.m.o. w biomacie jest bardzo różna i waha się od 70 do 99 % s.m.o. w suchej masie. Oznacza to, że praktyczne granice zawartości s.m.o. w jednostce świeżej masy (tonie, m<sup>3</sup>) są jeszcze większe i wynoszą od 2 do 85%.

Aby zwiększyć wydajność procesu fermentacji metanowej stosuje się mieszanki różnych rodzajów biomasy. Pozytywny wpływ na przebieg procesu może mieć odpowiednie przygotowanie biomasy przed podaniem jej do komory fermentacyjnej. Jednym z bardziej skutecznych sposobów jest rozdrobnienie biomasy. Rozdrobnienie zwiększa powierzchnię kontaktu, na której mogą rozwijać się bakterie. Rozdrobnienie powoduje niszczenie błon komórkowych broniących dostęp do fermentowanych, zmagazynowanych we wnętrzu komórki substancji. Ułatwi to bakteriom produkcję biogazu.



Rys. 2. Prędkość powstawania i ilość powstającego biogazu

### 1.8. Substraty do produkcji biogazu

Substratami do fermentacji metanowej są wszelkiego rodzaju substancje organiczne pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego. Między poszczególnymi rodzajami biomasy występują jednak znaczne różnice, jeżeli weźmiemy pod uwagę szybkość ich rozkładu oraz ilości uzyskiwanego w tym procesie biogazu. Sam biogaz może mieć również różny jakościowy i ilościowy skład. Różnorodność ta jest bardzo duża. Przykładowo wpływ na ilość i skład uzyskanego biogazu ma czas, w którym dokonuje się zbioru kukurydzy w celu jej zakiszenia. Poniżej przedstawiono przykładowe rodzaje substratów wg ich źródła pochodzenia.



Źródło substratu	Rodzaj substratu przeznaczonego do produkcji biogazu
Rolnictwo	- żywienie zwierząt (bydło, trzoda chlewna, drób) – gnojowica, obornik, resztki z żywienia - produkcja roślinna - pozostałości poźniwne - produkcja roślin energetycznych - kiszonka z kukurydzy, traw, inne
Przemysł	- przetwórstwo owoców i warzyw - obierki, wytloki, - przemysł cukierniczy - melasa, kawałki korzeni, ścieki - browary - wysłodziny, ścieki - produkcja soków - odpady z czyszczenia, wytloki - mleczarnie - serwatka i ścieki - przetwórstwo mięsa - odpady z rzeźni - przemysł rybny - odpady, olej rybny - produkcja wina, alkoholi – wytloki, wywary
Odpady komunalne	- gospodarstwa domowe - organiczna frakcja odpadów komunalnych - rynki, targowiska - uszkodzone i zepsute owoce i warzywa - sklepy - przeterminowane produkty żywnościowe, sałatki, lody - separatory tłuszczu - tłuszcze, pozostałości z flotacji - kuchnie i stołówki (firmy, hotele) - resztki posiłków i z gotowania, obierki - tereny publiczne - z pielęgnacji trawników, liście

1. Tabela 2. Rodzaje substratów wg źródła pochodzenia

Przy stosowaniu substratów pochodzących z przetwórstwa mięsa konieczne jest przeprowadzenie zabiegów przygotowawczych (higienizacja, pasteryzacja). W praktyce, najczęściej jako wsadu do komór fermentacyjnych biogazowni stosuje się mieszaninę substratów. Zazwyczaj jest to gnojowica (lub inny rodzaj odchodów pochodzących z hodowli zwierząt) a drugim składnikiem są produkty pochodzenia roślinnego. W doborze składników, zarówno co do rodzaju, jaki i ich proporcji, należy zwracać szczególnie uwagę na:

- źródło, z którego pochodzą substraty,
- zawartość suchej masy (s.m.) - pożądana wielkość: 12-15 % przy fermentacji mokrej, 16-40% dla fermentacji suchej,
- zawartość suchej masy organicznej (s.m.o.),
- ilość i proporcje składników odżywczych – stosunek C:N:P:S (węgiel:azot:fosfor:siarka) powinien być zbliżony do proporcji 600:15:5:1,
- pH mieszaniny reakcyjnej powinien mieścić się w granicach 6,8 – 7,5,
- ilość lub możliwość wystąpienia i kumulacji substancji szkodliwych (inhibitorów),
- ewentualna konieczność preparowania substratów przed poddaniem fermentacji,
- ilość i jakość możliwego do uzyskania biogazu.

Na niektóre wymienione wartości mamy ograniczony wpływ. Np. przy zbyt dużej zawartości suchej masy możemy prawidłową proporcję uzyskać dodając wody lub odseparowanej reszty pofermentacyjnej. Inne cechy są charakterystyczne dla danego rodzaju substratu.

Właściwości stosowanych substratów mają również wpływ na wybór technologii czy wręcz wybór konkretnych urządzeń i elementów instalacji biogazowej. Np. zawartość suchej masy determinuje sposób podawania substratu do komory fermentacyjnej. Substraty o mniejszej zawartości suchej masy mogą być podawane pompą. Substancje o większej zawartości s.m. wymagają zastosowania innych urządzeń. Od tego samego parametru zależy również dobór sposobu mieszania masy w komorze fermentacyjnej.

Poniżej przedstawiono najczęściej stosowane substraty oraz ich podstawowe cechy.

Tabela 3. Właściwości wybranych substratów używanych do wytwarzania biogazu

Substrat	Zawartość suchej masy (s.m.)	Zawartość suchej masy organicznej (s.m.o.)	Uzysk biogazu		Zawartość CH <sub>4</sub> w biogazie
	%	%	m <sup>3</sup> /t s.m.	m <sup>3</sup> /t s.m.o.	%
Nawozy naturalne					
Gnojowica bydłęca	8 - 11	75 - 82	20 - 30	200 - 500	60
Gnojowica świńska	ok. 7	75 - 86	20 - 35	300 - 700	60 - 70
Obornik bydłowy	ok. 25	68 - 76	40 - 50	210 - 300	60
Obornik świński	20 - 25	75 - 80	55 - 65	270 - 450	60
Obornik kurzy	ok. 32	63 - 80	70 - 90	250 - 450	60
Surowce odnawialne					
Kiszonka z kukurydzy	20 - 35	85 - 95	170 - 200	450 - 700	50 - 55
Żyto GPS	30 - 35	92 - 98	170 - 220	550 - 680	ok. 55
Burak cukrowy	23	90 - 95	170 - 180	800 - 860	53 - 54
Nać buraka	16	75 - 80	ok. 70	550 - 600	54 - 55
Kiszonka z trawy	25 - 50	70 - 95	170 - 200	550 - 620	54 - 55
Substraty pochodzące z przemysłu rolniczego związane z dalszą przeróbką					

Wysłodziny browarniane	20 - 25	70 - 80	105 - 130	580 - 750	59 - 60
Wywar zbożowy	6 - 8	83 - 88	30 - 50	430 - 700	58 - 65
Wywar ziemniaczany	6 - 7	85 - 95	36 - 42	400 - 700	58 - 65
Wytłoki owocowe	25 - 45	90 - 95	250 - 280	590 - 660	65 - 70
Surowce organiczne z obiektów komunalnych / odpadki rzeźnicze					
Odpady sklepowe	5 - 20	80 - 90	45 - 110	400 - 600	60 - 65
Przeterminowana żywność	9 - 37	80 - 98	50 - 480	200 - 500	45 - 61
Treść żołądkowa (świnie)	12 - 15	75 - 86	20 - 60	250 - 450	60 - 70
Treść żołądkowa (przeżuwaczy)	11 - 19	80 - 90	20 - 60	200 - 400	58 - 62
Zieleń i trawa					
Skoszona zieleń	ok. 12	83 - 92	150 - 200	550 - 680	55 - 65

Biogazownie. Instalacje i urządzenia do produkcji biogazu

#### 1.9. Elementy technologii

Instalacje biogazowe są instalacjami bardzo specyficznymi. Na rodzaj wybranej i zastosowanej technologii produkcji biogazu decydujący wpływ mają substraty, które będą w niej wykorzystywane. Rodzaj i ilość, zawartość suchej masy, ewentualna konieczność wstępnego przygotowania - to podstawowe czynniki decydujące o doborze elementów instalacji. Na decyzje o wyborze technologii wpływają również indywidualne warunki panujące w gospodarstwie gdzie ma być wybudowana biogazownia.

Posiadając podstawowe informacje o dostępnych substratach i warunkach w których ma być wybudowana biogazownia musimy wybrać metodę wytwarzania biogazu, którą będziemy chcieli zastosować.

Tabela 4. Elementy technologii oraz ich cechy i właściwości

Elementy technologii	Cechy, właściwości technologii
Liczba etapów procesu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– jednoetapowy</li> <li>– dwuetapowy</li> <li>– wieloetapowy</li> </ul>
Temperatura procesu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– psychofilowe (20 - 25 °C)</li> <li>– mezofilowa (37 - 42°C)</li> <li>– termofilowa (55 – 60 °C.)</li> </ul>
Sposób napełniania komory fermentacyjnej	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ciągły</li> <li>– okresowy</li> <li>– pośredni</li> </ul>
Rodzaj fermentacji (ze względu na zawartość s.m.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– fermentacja mokra (ok. 12 % s.m.)</li> <li>– fermentacja sucha (ok. 40 % s.m.)</li> </ul>

Mimo dużej indywidualności zastosowanych rozwiązań w całym procesie technologicznym wytwarzania biogazu rolniczego, można wyróżnić cztery zasadnicze etapy:

#### I Etap

- pozyskanie substratów,
- dostawa i magazynowanie substratów,
- przygotowanie substratów (klasyfikacja, rozdrabnianie, homogenizacja itp.),
- wprowadzanie substratów do komory fermentacyjnej (ustalenie dawki, pompowanie, wtłaczanie, podawanie),

#### II Etap

fermentacja, uzyskiwanie biogazu i reszty pofermentacyjnej (zespół procesów biochemicznych zachodzących w komorze fermentacyjnej),

#### III Etap

- zagospodarowanie masy pofermentacyjnej,
- składowanie w zbiorniku lub lagunie (ewentualna separacja frakcji stałej od płynnej),
- wywózka na pola bez obróbki,
- termiczna utylizacja,

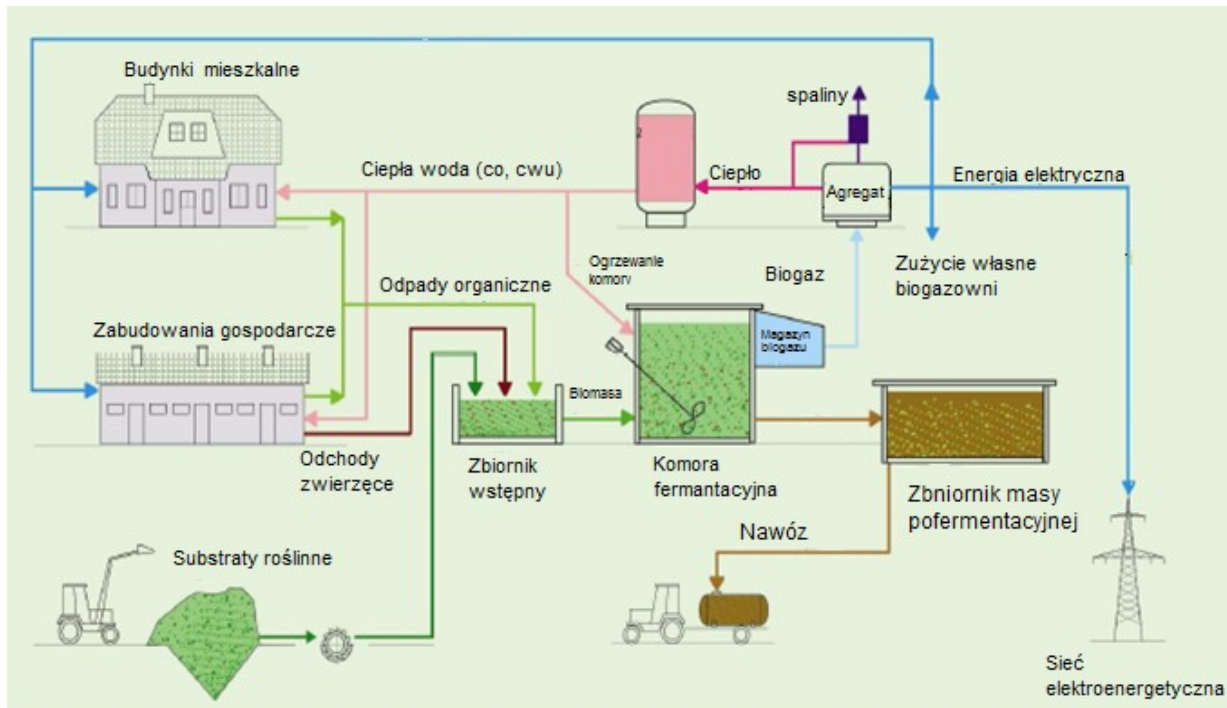
#### IV Etap

- wykorzystanie biogazu,
- uzdatnianie biogazu (odsiarczanie, odwadnianie, wzbogacanie),
- wykorzystanie w układzie kogeneracyjnym (lub kotle gazowym),
- uzdatnienie do warunków potrzeb sieci gazowej,
- uzdatnianie do warunków potrzeb jako CNG.

Obecnie na rynku dostępna jest pełna gama urządzeń i maszyn, które można zastosować do realizacji wybranej technologii. Są również firmy, które oferują kompleksową dostawę instalacji (od projektu do wykonania i uruchomienia). W przypadku mniejszych, rolniczych instalacji, są to często biogazownie budowane i wyposażane przez samych rolników. Ciągłe poszukuje się nowych lepszych, konkurencyjnych rozwiązań odpowiadających wymaganiom ochrony środowiska, nowoczesnego rolnictwa, energetyki rozproszonej i utylizacji odpadów.

## 1.10. Biogazownia rolnicza

Schemat typowej biogazowni przedstawiono na rysunku poniżej.



Rys. 3 Schemat typowej biogazowni rolniczej

Dla typowej biogazowni rolniczej możemy wyodrębnić następujące zestawy maszyn, urządzeń, wyposażenia i instalacji, które są wykorzystywane do produkcji biogazu:

- przygotowanie i podawanie substratów: zbiorniki na masę płynną, silosy na kiszonkę, płyty obornikowe, urządzenia do rozdrabniania i uwadniania biomasy, pompy, przenośniki (ślimakowe, taśmowe), wagi, maszyny do transportu i załadunku (samochody, ciągniki, ładowarki),
- komora (zbiornik) fermentacyjna: szczelny betonowy (lub stalowy) zbiornik z płytą denną i przekryciem, mieszałka, pompy, instalacja ogrzewania, izolacja zewnętrzna,
- zbiornik buforowy na biogaz: powłoka z tworzywa sztucznego na komorze fermentacyjnej i na zbiornikach „dofermentujących” ewentualnie w postaci worka w oddzielnie skonstruowanej osłonie, instalacja gazowa z urządzeniami do kontrolowania parametrów odsiarczania i osuszania biogazu,
- urządzenia do produkcji energii: agregat kogeneracyjny (silnik spalinowy sprzężony z prądnicą), układ odzysku i transportu ciepła (ze spalin i chłodziwa silnika), układ pomiarowo-

- zabezpieczający, przyłącze elektroenergetyczne z zabezpieczeniem,
- wykorzystanie masy pofermentacyjnej: zbiornik na masę pofermentacyjną (szczelny, betonowy, odkryty lub laguna), pompy i mieszadła, urządzenia do separacji frakcji stałej, środki transportu do wywozu masy pofermentacyjnej na pola.

#### 1.11. Przykłady istniejących instalacji

Biogazownie rolnicze są instalacjami spełniającymi cały szereg ważnych funkcji a w szczególności:

- są źródłem zielonej energii elektrycznej i ciepła,
- służą do utylizacji odpadów z produkcji rolnej i przetwórstwa rolno-spożywczego,
- pełnią rolę instalacji utylizującej odchody zwierzęce,
- mają cechy źródła energii rozproszonej,
- są narzędziem wspomagającym restrukturyzację polskiej wsi,
- umożliwiają dywersyfikację produkcji rolnej,
- są instalacjami ochrony środowiska.

Mimo trudności związanych z budową biogazowni rolniczych, te które zostały wybudowane w pełni potwierdzają słuszność zaprezentowanego sposobu myślenia o biogazie rolniczym. Dobrym przykładem który można tu przywołać jest mała biogazownia rolnicza wybudowana w miejscowości Studzionka gm. Pszczyna której właścicielami są Bibianna i Grzegorz Pojadowie.



Fot. 1. Biogazownia w Studzionce w czasie budowy

Główne dane techniczne biogazowni w Studzionce:

a) substraty:

- odchody kurze (nioski): 690 ton/rok,
- gnojowica świńska: 320 ton/rok,
- kiszonki kukurydzy i trawy: 365 ton/rok,
- pozostałości produkcji rolnej oraz z gospodarstwa domowego,

b) elementy konstrukcyjne:

- stalowa komora fermentacyjna o objętości ok. 60 m<sup>3</sup> (na bazie wycofanej z użytku cysterny kolejowej),
- betonowy przekryty zbiornik dofermentujący o objętości czynnej ok. 350 m<sup>3</sup>,
- zbiornik na biogaz: wiszący worek z tworzywa sztucznego umieszczony w specjalnie wykonanej konstrukcji osłoniętej blachą falistą,
- układ kogeneracyjny o mocy elektrycznej 30 kWel i ciepłej ok. 40 MWth,

c) zakładana (docelowa) roczna wydajność biogazowni:

- biogaz: 98 tys. m<sup>3</sup>,
- energia elektryczna: 180 MWh,
- ciepło: ok. 1.000 GJ.



Fot. 2. Układ kogeneracyjny biogazowni w Studzionce





Fot. 3. Zbiornik biogazu i komory fermentacyjne biogazowni w Studzionce

Podobnym rozwiązaniem, ale jeszcze niezakończonym, jest instalacja wykonana przez pana Janusza Mikołajca z miejscowości Wisła Mała, również w gminie Pszczyzna.



Fot. 4. Fermentator i pomieszczenie przepompowni budowanej biogazowni w Wiśle Małej  
Według założeń właściciela ma to być biogazownia o parametrach zbliżonych do tej ze Studzionki (porównywalne są również oba gospodarstwa rolne).

### 1.12. Kontenerowa mikrobiogazownia rolnicza KMR 7

Realizowane dotychczas biogazownie charakteryzuje duża różnorodność – zarówno pod względem instalowanych urządzeń, jak i ilości produkowanego biogazu i otrzymywanej z niego energii. Sama zasada i sposób otrzymywania biogazu rolniczego pozwalają na takie właśnie zróżnicowanie.

Główną ideą przyświecającą twórcom kontenerowej mikrobiogazowni rolniczej (KMR 7) było dostosowanie jej konstrukcji do realiów naszego, polskiego rolnictwa. Według Rocznika statystycznego Rolnictwa w 2007 r. średnia powierzchnia indywidualnego gospodarstwa rolnego wynosiła 6,41 ha, w tym użytków rolnych 5,60 ha. I głównie dla takich gospodarstw przeznaczona jest mikrobiogazownia rolnicza KMR7.

Tabela 5. Ilość energii możliwa do uzyskania z 1 ha upraw

Substrat roślinny	Plon		Biogaz		Energia		
	t / ha		m <sup>3</sup> / ha		GJ / ha	kWh / ha	elektr. - kWh / ha
Kukurydza	3 - 5 0 - 0	0 - 0	6 050 - 6 750	7 - 5	8 - 14 7 - 5	36 - 40 300 - 500	14 520 - 16 200
Lucerna	2 - 3 5 - 5	0 - 0	3 960 - 4 360	5 - 94	8 5 - 94	23 - 26 760 - 160	9 504 - 10 464
Żyto	3 - 4 0 - 0	0 - 0	1 620 - 2 025	5 - 43	3 5 - 43	12 9 720 - 150	3 888 - 4 860
Pszenżyto	3 0	0	2 430	5 2	5 2	14 580	5 832
Burak cukrowy korzeń	4 - 7 0 - 0	0 - 0	10 260	220	7 220	61 560	24 624
Burak cukrowy liście	3 - 5 0 - 0	0 - 0	3 375	2	7 2	20 250	8 100
Słonecznik	3 - 5 0 - 0	0 - 0	2 430 - 3 240	2 - 70	5 2 - 70	14 - 19 580 - 440	5 832 - 7 776
Rzepak	2 - 3 0 - 5	0 - 5	1 010 - 1 620	2 - 37	2 2 - 37	6 060 - 9 720	2 424 - 3 888

KMR7 została przystosowana do możliwości wykorzystania szerokiej gamy substratów. Przede wszystkim do pozostałości z produkcji rolno-hodowlanej, jak również do kiszonek z roślin energetycznych celowo uprawianych. Przewidywana wielkość produkcji biogazu (o zawartości około 55% metanu) w komorze fermentacyjnej, przy realnej szybkości fermentacji, wynosi 3,5 do 5 m<sup>3</sup>/godz. (w zależności od rodzaju substratu). Odpowiadająca tej ilości biogazu moc elektryczna mikrobiogazowni wynosi około 7-10 kWel.

Zaprojektowana komora fermentacyjna wraz z ociepleniem i osłoną zewnętrzną w postaci blach trapezowych w zasadzie nie przekracza gabarytów podwyższonego 40 stopowego kontenera morskiego. Pojemność całkowita wynosi ok. 70 m<sup>3</sup>, a pojemność wypełnienia substratami ok. 60 m<sup>3</sup>. Mikrobiogazownia jest konstrukcją przewoźną. Na górze kontenera przewiduje się umieszczenie magazynu buforowego biogazu o pojemności około 15 m<sup>3</sup>, nakrytego dachem z blachy trapezowej. Ten element będzie transportowany osobnym środkiem transportu.

Zasilanie komory substratami odbywać się będzie poprzez nakryty kanał wrzutowy w górnej części kontenera. Dostarczane kanałem wrzutowym substraty będą opadały po skośnej blasze do wnętrza komory.



Fot. 5. KMR7 w trakcie budowy - widok na lej zasypowy

Komora nie będzie miała mieszadła w klasycznym znaczeniu. Zastosowane zostanie natomiast okresowe natryskiwanie perkolatem (przefermentowaną gnojowicą). Wytworzony biogaz, gromadzony w magazynie buforowym biogazu, będzie kierowany do silnika agregatu kogeneracyjnego, gdzie nastąpi przetworzenie energii biogazu w energię elektryczną i ciepłą.



Fot. 6. Biogazownia kontenerowa przed ustawieniem w gospodarstwie

Układ kogeneracyjny będzie umieszczony na pomoście obsługi KMR, w osobnym wylumionym kontenerze lub w wyznaczonych pomieszczeniach gospodarstwa rolnego. KMR7 zostanie wyposażona w standardowy układ przyłączenia do sieci NN, obejmujący wyłącznik, szafkę przyłączeniową z aparaturą sterowniczo-zabezpieczeniową, oraz wymaganą instalacją telemechaniki (telesygnalizację i telepomiar).

Jedną z głównych zalet konstrukcji jest możliwość jej transportu bez konieczności uzyskiwania specjalnych pozwoleń.



Fot. 7 Transport KMR7 na miejscu przyszłej eksploatacji

Pozostałość pofermentacyjna, oprócz swoich wartości nawozowych – wysoka zawartość przyswajalnych pierwiastków N, P, K, cechuje duży rozkład nasion chwastów, ma również bardzo niski poziom przykrych substancji odorowych w porównaniu z nie przefermentowaną gnojowicą czy świeżym obornikiem. Kontenerowa mikrobiogazownia rolnicza, jest jednocześnie urządzeniem produkującym energię elektryczną i ciepło oraz urządzeniem utylizującym odpady (chroniącym środowisko). Uzyskiwana w układzie kogeneracyjnym energia elektryczna wykorzystywana będzie na własne potrzeby gospodarstwa, a ewentualne nadwyżki mogą być sprzedawane lokalnej spółce dystrybucyjnej. Uzyskiwane przy produkcji energii elektrycznej ciepło, w części musi być przeznaczone na potrzeby procesu fermentacji, ale pozostała część może w dużej mierze zaspokoić potrzeby własne gospodarstwa np. do ogrzewania domu czy też budynków gospodarczych.



Fot. 8. Montaż zadaszenia nad KMR7

Jak wspomniano wyżej konstrukcyjnie KMR7 przystosowana jest do stosowania bardzo szerokiej gamy substratów. Z przyczyn oczywistych najbardziej opłacalne będzie stosowanie substratów które dostępne są w gospodarstwie lub bezpośrednim jego sąsiedztwie. Poniższe wyliczenia prezentują możliwe do osiągnięcia ilości energii przy zastosowaniu kisonki kukurydzy w zestawieniu z gnojowicą świńską.

Lp.	Rodzaj substratu	Ilość substratu		sucha masa		sucha masa organiczna		Uzysk biogazu		Energia biogazu (1m <sup>3</sup> =6 kWh)	
		t / rok	t / dobę	%	t / rok	%	t / rok	m <sup>3</sup> / t s.m.o.	m <sup>3</sup> / rok	kWh	MWh
1	gnojowica świńska	100	0,274	7,0%	7	78,0%	5,46	350	1 911		
2	kiszonka kukurydzy	210	0,575	32,0%	67	90,0%	60,48	600	36 288		
B.	reszta pofermentacyjna		0,000	2,0%	0	10,0%	0,00	0	0		
	<b>suma :</b>	<b>547</b>	<b>1,499</b>		<b>74</b>		<b>65,94</b>		<b>38 199</b>	<b>229 194</b>	<b>229,19</b>
	<b>Uzysk energii elektrycznej [MWh]</b>	<b>35%</b>		<b>Uzysk energii cieplnej [MWh]</b>	<b>45%</b>		<b>Uzysk roczny energii elektrycznej [kWh]</b>	<b>Uzysk dzienny [kWh]</b>	<b>Średni uzysk na godzinę [kWh]</b>	<b>MOC generatora w kW przy 8000 h/rok</b>	
		80,2		103,1			80 217,90	219,78	9,16	<b>10,0</b>	
	Średnia objętość dobową substratu	Średni czas zatrzymania		Wielkość komór fermentacyjnych [ m <sup>3</sup> ]		sm.	Obciążenie komory s.m.o.				
	[ m <sup>3</sup> /t ]	[ dni ]		stalowe-leżące	betonowych	[ % ]	[ kg s.m.o./ (m <sup>3</sup> *dobę) ]				
	1,58	45		67,4	77	13,6%	2,9				

Tabela 6. Uzyski biogazu i energii w mikrobiogazowni KMR7 (kiszonka z kukurydzy i gnojowica)

#### 1.12.1. Koszty instalacji kontenerowej mikrobiogazowni rolniczej KMR7

Lp.	Element	Cena
1	Zbiornik fermentacyjny	115 500 zł
2	Układ kogeneracyjny	50 000 zł
3	Układy automatyki i sterownia	23 500 zł
4	Układ pomiarowy i przyłącze do ZE (*)	18 000 zł
5	Zbiornik gazu (worek z tworzywa sztucznego)	3 500 zł
6	Dokumentacja, projekt techniczny, nadzór	8 000 zł
7	Adaptacja zbiornika masy pofermentacyjnej (**)	1 000 zł
8	Robocizna	7 000 zł
9	Instalacje technologiczne, przygotowanie terenu itp.	13 000 zł
10	Rozruch, transport, szkolenia, przekazanie inwestycji	5 000 zł
11	Zasobnik wody grzewczej (miń. 5m <sup>3</sup> )	10 000 zł
	<b>RAZEM:</b>	<b>254 500 zł</b>

W swojej podstawowej wersji przewidywana moc układu kogeneracyjnego wynosi 7-10 kWel. Podstawowymi elementami są: komora fermentacyjna, układ kogeneracyjny i zbiornik biogazu. Szacunkowe koszty zamontowania mikrobiogazowni w gospodarstwie przedstawiają się następująco:

Tabela 8. Szacunkowe koszty instalacji KMR7 o mocy 7 – 10 kWel

I. ZAŁOŻENIA			
Czas pracy układu kogeneracyjnego	16 h/dobę	5 840 h/rok	
Roczne zużycie en. elektr. w gospodarstwie (przykładowo)		22 000 kWh/rok	
Możliwość wykorzystania en. z własnej produkcji	55%	12 100 kWh/rok	
Zużycie energii na potrzeby własne biogazowni	10%	5 840 kWh/rok	
Moc układu kogeneracyjnego		10 kW	
Ilość wyprodukowanej energii elektrycznej		58 400 kWhel	
En. elektryczna zużyta na potrzeby własne biogazowni	10%	5 840 kWh	
Ilość wyprodukowanej energii cieplnej en. cieplna do wykorzystania w gospodarstwie	70%	75 086 kWhth	270,3 GJ
en. cieplna na potrzeby procesu (biogazowni)	30%	52 560 kWh	189,2 GJ
		22 526 kWh	81,1 GJ
II. PRZYCHODY			
	Ilość	Cena	Wartość
1 En. elektryczna sprzedana lokalnemu operatorowi	30 560 kWh	0,190 zł/kWh	5 806 zł
2 En. elektryczna na potrzeby gospodarstwa	12 100 kWh	0,420 zł/kWh	5 082 zł
3 Sprzedaż zielonych świadectw pochodzenia	58 400 kWh	0,277 zł/kWh	16 177 zł
4 Sprzedaż żółtych świadectw pochodzenia	58 400 kWh	0,127 zł/kWh	7 417 zł
5 Koszt ciepła zużywanego w gospodarstwie	189,2 GJ	35,0 zł/GJ	5 000 zł
			39 482 zł
III. WYDATKI			
1 Zakup biogazowni			254 500 zł
2 Koszty eksploatacji (serwisu)			1 579 zł /rok
IV			127 250 zł
. Dotacje, pomoc finansowa	50%		
V SPBT			3,4 lata



Jest to kosztorys wstępny, który może ulec zmianie po rozpatrzeniu konkretnej lokalizacji. Duży wpływ na koszty ma również posiadana przez dane gospodarstwo infrastruktura, np. istniejące zbiorniki na gnojowicę, instalacje, położenie zabudowań.

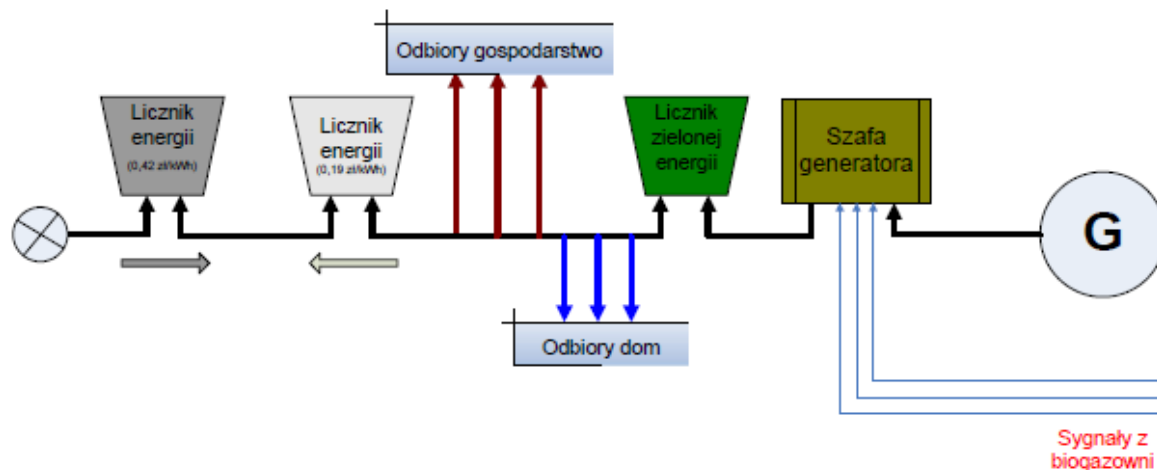
Istnieje także możliwość połączenia dwóch komór fermentacyjnych równolegle, które produkować będą biogaz dla jednego silnika. W tym przypadku produkcja energii będzie odpowiednio wyższa, a jednostkowe nakłady inwestycyjne mniejsze. Biogazownia wybudowana w oparciu o komorę KMR7 może być biogazownią modułową.

1.12.2. Możliwe do osiągnięcia przychody z produkcji energii dla układu 10 k

1.12.3. Przyłączenie mikrobiogazowni do sieci energetycznej.

Przyłączenie mikrobiogazowni do sieci elektroenergetycznej musi być wykonane na podstawie projektu opracowanego przez osobę do tego uprawnioną. Lokalna spółka dystrybucyjna (zakład energetyczny) dokonuje tzw. uzgodnienia dokumentacji układu pomiarowo-rozliczeniowego, pod względem spełnienia wymogów zawartych w odpowiednich przepisach i wydanych warunkach przyłączenia.

Oprócz oczywistego wymogu bezpieczeństwa układ przyłączeniowy powinien zapewniać prawidłowy sposób rozliczania ilości wyprodukowanej i zużytej energii. Jest to niezbędne do otrzymania świadectw pochodzenia energii czyli tzw. „zielonych certyfikatów”. Ogólny schemat zasady działania układu rozliczającego przedstawiono poniżej:



Rys. 4. Schemat ilustrujący zasady działania układu rozliczającego.

2. Przykład obliczeń dla biogazowi średniej wielkości

Poniżej przedstawiamy przykład wstępnego opracowania dokumentacji dla średniej wielkości biogazowi rolniczej.

## 2.1. Definicja projektu

Przedmiotem opracowania jest przedsięwzięcie polegające na wybudowaniu i eksploatacji przez gospodarstwo rolne zajmującą się hodowlą, rolnictwem i eksploatacją gorzelnii, biogazowni rolniczej, wykorzystującej odpady zwierzęce, odpady produkcji rolnej, kiszonki oraz wywar pogorzelniany, do wytwarzania biogazu i dalej energii elektrycznej i ciepłej. Pozostałość poprodukcyjna w postaci reszty pofermentacyjnej zostanie zagospodarowana jako „ulepszony” nawóz naturalny pod uprawy.

## 2.2. Charakterystyka projektu

Gospodarstwo rolne zlokalizowane jest w zachodniej części województwa mazowieckiego.

Gospodarstwo posiada 350 ha użytków rolnych, na których uprawia pszenicę, rzepak, jęczmień, buraki, kukurydzę. Gospodarstwo prowadzi jednocześnie hodowlę trzody chlewnej w ilości około 2.000 szt. rocznie. W gospodarstwie eksploatowana jest również gorzelnia.

Przewidywane roczne ilości substratów do wykorzystania:

- gnojowica świńska 4.200 ton
- kiszonka kukurydzy 4.200 ton
- wywar zbożowy 10.000 ton

Dla osiągnięcia odpowiedniej zawartości s.m. w komorze fermentacyjnej, stosowana będzie odseparowana reszta pofermentacyjna oraz woda. Założono dwuetapowy proces fermentacji.

Uwaga:

ponieważ gospodarstwo uprawia buraki cukrowe należy zastanowić się nad możliwością wykorzystania liści z buraków oraz wysłdków jako kosubstratów, co zasadniczo poprawiłoby efekt energetyczny instalacji.

## 2.3. Analiza techniczna

Wstępną analizę wydajności przedstawiono w tabeli poniżej:

Tabela 9. Uzysk biogazu i energii w projektowanej instalacji

Lp.	Rodzaj substratu	Ilość substratu		sucha masa		sucha masa organiczna		Uzysk biogazu		Energia biogazu (1m <sup>3</sup> =6kWh)	
		t / rok	t / dobę	[ % ]	t / rok	[ % ]	t / rok	m <sup>3</sup> / t s.m.o.	m <sup>3</sup> / rok	kWh	MWh
1	gnojowica świńska	4 200	11,507	7,0%	294	78,0%	229,32	350	80 262		
2	kiszonka kukurydzy	4 200	11,507	32,0%	1 344	90,0%	1 209,60	600	725 760		
3	wywar gorzelniany (kukurydza)	10 000	27,397	8,0%	800	90,0%	720,00	580	417 600		
A.	woda	2 000	5,479	0,0%	0	0,0%	0,00	0	0		
B.	reszta pofermentacyjna	1 200	3,288	1,5%	18	10,0%	1,80	0	0		
	<b>suma:</b>	<b>21 600</b>	<b>59,178</b>		<b>2 456</b>		<b>2 160,72</b>		<b>1 223 622</b>	<b>7 341 732</b>	<b>7 341,73</b>
	<b>Uzysk energii elektrycznej [MWh]</b>	<b>40%</b>	<b>Uzysk energii cieplnej [MWh]</b>	<b>45%</b>		<b>Uzysk roczny energii elektrycznej [kWh]</b>	<b>Uzysk dzienny [kWh]</b>	<b>Średni uzysk na godzinę [kWh]</b>	<b>MOC generatora w kW przy 8000 h/rok</b>		
	2 936,7		3 303,8			2 936 692,80	8 045,73	335,24	<b>367,1</b>		
	<b>Średnia objętość dobową substratu</b>	<b>Średni czas zatrzymania</b>	<b>Wielkość komór fermentacyjnych [ m<sup>3</sup> ]</b>		<b>s.m.</b>						
	[ m <sup>3</sup> / t ]	[ dni ]	stalowe-leżące	betonowych	[ % ]						
	62,29	50	2 958,9	3 382	11,4%						

Z tabeli można odczytać charakterystyczne wielkości dotyczące projektowanej instalacji, przy zastosowaniu podanych wcześniej substratów:

- ilość uzyskanego biogazu: 1.223.622 m<sup>3</sup> rocznie
- ilość energii elektrycznej: 2.936,7 MWhel
- ilość energii cieplnej: 3.303,8 MWhth
- moc kogeneratora: 367 kW (przy 8.000 godzin pracy rocznie).

Dla przyjętej metody prowadzenia procesu fermentacji należy zastosować dwie komory w układzie szeregowym w których będzie zachodził proces fermentacji podstawowej i proces dofermentujący. Obie o objętości 1.700 m<sup>3</sup>, zamknięte elastycznymi zbiornikami na biogaz (kopuły z tworzywa sztucznego). Przyjmuje się, że komora fermentacyjna i dofermentująca będą zbiornikami żelbetowymi o średnicy 19 i wysokości 6 m.

Do przygotowania substratów wykorzystywany będzie zbiornik wstępny o objętości ok. 150 m<sup>3</sup>. Do przechowywania reszty pofermentacyjnej służyć ma zbiornik żelbetowy lub laguna o objętości nie mniejszej niż 6.000 m<sup>3</sup>.

#### 2.4. Charakterystyka i instalacja procesu technologicznego

Końcowa część dotychczas istniejącego w obrębie chlewni, kolektora zrzutowego gnojowicy z chlewni, zostanie przystosowana do permanentnego gromadzenia gnojowicy od świni i dostarczanych odchodów i pozostałych substratów do zbiornika wstępnego. Mieszadło w zbiorniku wstępnym będzie okresowo uruchamiane celem z homogenizowania substratów wprowadzonych, bezpośrednio substratów do komory fermentacyjnej. Czynności rozdrabniania a następnie pompowania będą dokonywane w okresach kilku minutowych cztery do osiem razy w ciągu dnia (w zależności od potrzeb). Substraty w postaci stałej np. kiszonki kukurydzy (pryzmowane na polu w bezpośrednim sąsiedztwie instalacji, lub w silosach), trawy, i inne zielonki oraz obornik itp. podawane będą do komory fermentacyjnej, transporterem ślimakowym lub zgrzeblowym. Taki sposób zabezpiecza jednocześnie zaopatrywanie komory fermentacyjnej na wypadek niesprawności pompy zasilającej. Komora fermentacyjna to zbiorniki betonowe ogrzewane i ocieplane, wyposażony, w magazyn z tworzywa sztucznego do gromadzenia biogazu zamontowany na koronie komory fermentacyjnej oraz transporter ślimakowy do podawania substratów stałych, poziome mieszadło oraz połączenie przelewowe (syfonowe) łączące komorę fermentacyjną z komorą pofermentacyjną. Zbiornik reszty pofermentacyjnej jest to zbiornik betonowy lub laguna (o pojemności około 6.000 m<sup>3</sup>) do przechowywania w okresie zimowym (poza wegetacyjnym) przefermentowanej gnojowicy. Przed wylaniem na pola gnojowica powinna być wymieszana.

Biogaz gromadzi się pod kopułami komór fermentacyjnych, skąd rurociągiem doprowadzony jest do agregatu kogeneracyjnego. Do układu gazowego jest również podłączona rura gazowa ze zbiornika gnojowicy pofermentacyjnej, po to by ewentualne resztki gazowe wydobywające się z gnojowicy pofermentacyjnej nie przedostawały się do otoczenia, a były doprowadzone do silnika spalinowego kogeneratora.

Instalacja gazowa w odpowiednim miejscu wyposażona jest w zawór bezpieczeństwa.

Silnik kogeneratorski spalając biogaz, napędza generator elektryczny który wytwarza energię elektryczną. Energię ciepłą pozyskuje się z układu chłodzenia silnika spalinowego i jego układu wydechowego. Zebrana razem w wymienniku energia ciepła podgrzewa wodę, która w pierwszym rzędzie zostaje kierowana do instalacji ogrzewania substratu w komorze fermentacyjnej, a pozostała część do ogrzewania budynków i podgrzewania wody użytkowej. Kogenerator i wszystkie urządzenia technologiczne z nim związane będą zgrupowane w pomieszczeniu maszynowni.

Ciśnienie biogazu w całym układzie (przestrzeni gazowej) nie przekracza 5 cm słupa wody tj. ~ 0,005 bara.

## 2.5. Rachunek opłacalności.

Ze względu na naturalne, zmieniające się podstawy technologii biogazowej nie da się z góry określić każdego m<sup>3</sup> biogazu, zatem wyliczenia dokonane są możliwie obiektywnie oraz z uwzględnieniem realnych wartości. W praktyce może się zatem (w pewnych okolicznościach) okazać, że wartości są nieco inne, z reguły jednakże ramy przyjęte do wstępnej kalkulacji są dotrzymywane lub przekraczane, tak, że wyliczone wartości ekonomiczne w praktyce są najczęściej bardziej pozytywne.

Proszę pamiętać, że podane koszty inwestycyjne stanowią rząd wielkości inwestycji, nie mogą one być jednakże traktowane jako ostateczne. Wielkość nakładów inwestycyjnych nie zawsze można dokładnie wyliczyć, jednakże przedstawiamy wszystkie niezbędne komponenty w celu sporządzenia realnego rachunku opłacalności.

## 2.6. Wykorzystanie gazu

Zawartość metanu w biogazie została przyjęta na poziomie 54,0%, tym samym obliczona wielkość energii to 7,850 MWh. Przy zainstalowanej mocy elektrycznej o wielkości 360 kW oraz stopniu sprawności elektrycznej 40,0% otrzymujemy roczny czas eksploatacji ca. 8.000 godzin, co daje ca. 22 godzin dziennie. Ponieważ w przypadku instalacji biogazowej energia elektryczna jest z reguły najważniejszym źródłem wpływów, należy zwrócić uwagę na wysoki stopień jej wykorzystania.

## 2.7. Dochody z energii

Dzienna wydajność biogazu wynosi 3.233 m<sup>3</sup>, co odpowiada 7.080 MWh rocznie. Przy sprawności elektrycznej 40,0%, otrzymamy 2.833 MWhel rocznie. Jeżeli uwzględnimy energię elektryczną na potrzeby własne procesu w wysokości 8%, daje to 226 MWhel rocznie, stąd netto energii elektrycznej wynosi 2.607 MWhel rocznie.

Sprawność cieplna kogeneratorska wynosi 45,0%, t.j. 3.186 MWh rocznie. Jeżeli uwzględnimy energię ciepłą potrzebną do procesu w wysokości 1.300 MWh rocznie (odpowiada to 150 kW), to wydajność netto energii cieplnej (do zagospodarowania) wynosi 1.890 MWhth rocznie.

Do wyliczenia opłacalności w pierwszym rzędzie są potrzebne ceny substratów. Ceny gnojowicy i wywaru które są odpadami z działalności własnej przyjmuje się w wielkości równej zero.

Cena kiszonki z własnej produkcji przyjmuje się w wysokości 90 zł/tonę.

Cenę średnią za 1 kWhel którą przyjęto w wysokości:

- energia „czarna” 185 zł/ MWh
- energia „zielona” 255 zł/MWh

## 2.8. Szacunek kosztów inwestycji i opłacalność

Sporządzony szacunek kosztów całości inwestycji uwzględnia wszystkie niezbędne komponenty instalacji biogazowej. Wyliczenia kosztów oparte są na ogólnych kalkulacjach oraz średnich wartościach doświadczalnych i obejmują (wg dobrej wiedzy) całość kosztów instalacji. Konkretną wartość kompletnej instalacji można przygotować dopiero po udzieleniu zezwoleń i pozwolenia na budowę.

Tabela 10 Zestawienie kosztów inwestycyjnych

Nazwa	Uwagi	Wartość w zł
Przewody gnojowicy		75.000
Pompy gnojowicy		60.000
Kompletne urządzenie załadowcze		390.000
Komora Fermentacyjna z kompl. wyposaż.		1.250.000
Komora dofermentująca z kompl. wyposażeniem		970.000
Zbiornik pofermentacyjny		700.000
Separator	6 m3	126.000
Przewody gazowe		95.000
Kogenerator + wytwornica pary	360 kW	1.700.000
Podłączenie kogeneratora		45.000
Sterowanie		360.000
Podłączenie ciepła		75.000
Świeca gazowa		80.000
Podłączenie do sieci elektrycznej		270.000
Roboty ziemne i silosy		570.000
Planowanie – projekt		190.000
Zezwolenia – opłaty		60.000
SUMA		7.016.000
Dotacja 50%		3.508.000
Potrzebne środki		3.508.000

Tabela 11. Zestawienie rocznych przychodów

Przychody roczne	Ilość	Cena	Wartość w zł
Energia elektryczna (do sieci)	(2.936,7 – 10% potrzeby własne) MWh	185 zł	488.960
Zielone certyfikaty	2.936,7 MWh	255 zł	748.858
Żółte certyfikaty	(3.303,8 - 30 % nie wykorzystania) MWh	127 zł	293.708
Nośnik energet. zaoszczędzony (para do gorzelni)	ok. 180 kg/h		20.000

Tabela 12. Finansowanie

Inwestycja netto		7.016.000
Dotacja 50%	50%	3.508.000
Środki własne z kredytu	50%	3.508.000
Stopa procentowa kredytu (preferencyjnego)		6,50%

Tabela 13. Koszty stałe

Rodzaj kosztu	Amortyzacja	Udział w kosztach	Wartość
Koszty kredytu		6,5%	131.550,00
Amortyzacja budowli	4,50%	46,0%	70.007,40
Amortyzacja techniczna	6,67%	29,0%	65.418,03
Amortyzacja kogeneratora	12,50%	25,0%	105.687,50
Podatki od budowli		2,0%	62.228,80

Tabela 14. Koszty zmienne i suma kosztów

Koszty zmienne	Ilość	Cena	Wartość
Praca	1.200	25,0	30.000
Obsługa biologiczna procesu	1		5.000
Ubezpieczenie	1		35.000
Konserwacja kogeneratora	1		200.000
Serwis wewnętrzny - własny	1		30.000
Energia procesowa	7.5%	0,185	rozliczona w poz. przychody
Kukurydza	4.200	90	378.000
Trawa	4.200	0	0
Roczne koszty zmienne			678.000
Koszty roczne (stałe + zmienne)			1.112.891

Wynik (roczny przychód – suma rocznych kosztów):  $1.551.526 - 1.112.891 = 438.635$  zł

Przy tych założeniach prosty okres zwrotu wynosi około 8 lat.

Uwagi:

1. Ceny energii „zielonej” są co roku wyższe.
2. Ceny energii „czarnej” są u każdego operatora inne co wpływa bezpośrednio na wynik.
3. To samo dotyczy pozostałych składników, jak certyfikat „żółty” w zakresie wykorzystania energii cieplnej.

Dlatego określenie wyniku musi być poprzedzone odpowiednimi umowami.

Już w tym roku można uzyskać ceny za „zielone” certyfikaty na poziomie 270 zł za MWh, a za energię „czarną” 190 za MWh. W tym przypadku prosty okres zwrotu wynosi 7,07 lat.

## 2.9. Analiza (ocena) oddziaływania na środowisko

Sama instalacja i zastosowana technologia jest rozwiązaniem chroniącym środowisko, gdyż proces fermentacji od momentu wpompowania lub podania przenośnikiem ślimakowym substratu do komory fermentacyjnej aż do zakończenia procesu fermentacji w zbiorniku gnojowicy pofermentacyjnej jest procesem beztlenowym. A więc w żadnej fazie przebieg fermentacji nie ma bezpośredniej styczności

z otoczeniem, a gnojowica pofermentacyjna posiada obniżony poziom odorów do około 10 % w stosunku do odorów pierwotnych. Badania redukcji odorów prowadzono w instytutach rolniczych w Niemczech. Ponadto połączenia pomiędzy komorą fermentacyjną a zbiornikiem gnojowicy pofermentacyjnej są tak pomyślane by nie zachodziło niebezpieczeństwo zamarzania, zaczopowania ani wysychania przelewu syfonowego.

Instalacja będzie wyposażona w zamkniętym obiegu wody ciepłej w chłodnicę awaryjną odprowadzającą ciepło (wydmuch wentylatorowy). A układ gazowy będzie wyposażony w zawór bezpieczeństwa.

Spalanie biogazu w kogeneratorze służyć będzie do wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej. Biogazownia będzie źródłem emisji zorganizowanej ze spalania biogazu w silniku spalinowym (gazowym) do otoczenia (środowiska). W obrębie zbiornika końcowego może wystąpić niewielka emisja niezorganizowana, krótkotrwała i okresowa związana z pompowaniem gnojowicy w czasie wywozu gnojowicy na uprawy.

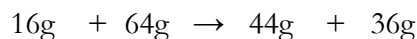
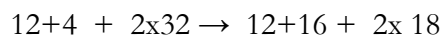
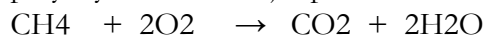
Średni skład biogazu:

metan (CH <sub>4</sub> )	50-75%	średnio 60 % tj. w 1m <sup>3</sup> > 600dm <sup>3</sup>
dwutlenek węgla (CO <sub>2</sub> )	25-45%	średnio 40 % tj. w 1m <sup>3</sup> > 400dm <sup>3</sup>
oraz zmienne ilości		
wody (H <sub>2</sub> O)	2-7% (20-400C)	
siarkowodoru (H <sub>2</sub> S)	20-20.000 ppmv	
azotu (N <sub>2</sub> )	< 2%	
tlenu (O <sub>2</sub> )	< 2%	
wodoru (H <sub>2</sub> )	< 1%	

Siarkowodor będzie redukowany powietrzem w komorze fermentacyjnej oraz w sieci gazowej. Wodór ulegnie spalaniu w kogeneratorze, pozostałe wejdą częściowo w reakcje w czasie spalania lub przejdą do układu wydechowego.

Wyliczenie wielkości i składu emitowanego gazu z silnika gazowego (po spalaniu):

W silniku spala się tylko metan, dwutlenek węgla nie wchodzi w silniku w reakcje chemiczne, zostaje zassany przez silnik razem z biogazem i po przejściu przez niego, wydalony z pozostałymi gazami przy wydechu. Reakcje spalania:



w normalnych warunkach ciśnienia i temperatury:

16g CH<sub>4</sub> zajmuje 22,4 dm<sup>3</sup>

44g CO<sub>2</sub> zajmuje 22,4 dm<sup>3</sup>



Do obliczeń przyjmujemy średni skład biogazu; stąd 1m<sup>3</sup> biogazu zawiera:

$$600\text{dm}^3 \times 16\text{g} : 22,4\text{dm}^3 = 428,57\text{g metanu (CH}_4)$$

$$400\text{dm}^3 \times 44\text{g} : 22,4\text{dm}^3 = 785,71\text{g dwutlenku węgla (CO}_2)$$

Do spalania 1 cząsteczki metanu potrzebne są 2 cząsteczki tlenu które w procesie spalania przechodzą w 1 cząsteczkę dwutlenku węgla i 2 cząsteczki wody (pary wodnej)

Spalając 1m<sup>3</sup> biogazu

$$(600\text{dm}^3 \text{ CH}_4 + 400\text{dm}^3 \text{ CO}_2) + (2 \times 600\text{dm}^3 \text{ O}_2)$$

otrzymujemy

$$(600\text{dm}^3 \text{ CO}_2 + 400\text{dm}^3 \text{ CO}_2) + (2 \times 600\text{dm}^3 \text{ H}_2\text{O}) = 1\text{m}^3 \text{ CO}_2 + 964,29\text{g skroplonej pary wodnej, czyli wody.}$$

Do spalania biogazu używa się powietrza, to jest gazu o zawartości średnio 21 % tlenu i 79 % azotu, a więc w 1m<sup>3</sup> powietrza jest 210dm<sup>3</sup> tlenu i 790dm<sup>3</sup> azotu.

Jak widzimy z poprzedniego wzoru, do spalania 1m<sup>3</sup> biogazu potrzebne jest 2 x 600dm<sup>3</sup> tlenu = 1,2m<sup>3</sup> tlenu.

Zapotrzebowanie powietrza przy spalania 1,0 m<sup>3</sup> biogazu wynosi:

$$X = 1,2\text{m}^3 \times 1,0\text{m}^3 : 0,21 = 5,71\text{m}^3.$$

Mamy więc następujący bilans poboru i emisji wielkości i rodzaju gazów wynikający z pracy kogeneratora przy poborze 1m<sup>3</sup> biogazu:

- pobór: 1m<sup>3</sup> biogazu + 5,71m<sup>3</sup> powietrza ( 1,2m<sup>3</sup> tlenu i 4,51m<sup>3</sup> azotu),
- emisja: 1m<sup>3</sup> dwutlenku węgla + 4,51m<sup>3</sup> azotu + 1,2m<sup>3</sup> pary wodnej.

Gorące gazy po procesie spalania w kogeneratorsze będą bezpośrednio kierowane do wymiennika ciepła, celem odzyskania zawartej w nich energii cieplnej, która służyć będzie do podgrzewania wody użytkowej. Gazy będą schładzane tak że ich temperatura na wyjściu z emitora (końcówki rury wydechowej) nie będzie większa niż 120 °C.

Przy takich parametrach objętość gazów (V2 ) wyrzucanych z emitora przy spalaniu 1 m<sup>3</sup> biogazu wyniesie:

$$V_2 = V_1 \times T_2 : T_1 = 6,71 \times 393 : 293 = 6,71 \times 1,341 = 9,0 \text{ m}^3$$

Po wdrożeniu biogazowni do pracy ustabilizowanej będzie ona produkowała

około 1.223.000 m<sup>3</sup> biogazu na rok, a czas pracy kogeneratorsza przewiduje się ok. 8.000 godzin.

Zużycie godzinowe biogazu wyniesie wtedy: 1.223.000 : 8.000 = 153 m<sup>3</sup>, co pociąga za sobą zapotrzebowanie powietrza w ilości 153 x 5,71 = 874 m<sup>3</sup>.

A zatem w ciągu godziny sumaryczna emisja gazów w przeliczeniu na normalne warunki (20°C , 1 bar) wyniesie:

$$6,71 \text{ m}^3 \times 153 = 1.026,6 \text{ m}^3, \text{ w tym:}$$

dwutlenku węgla	$1.026,6 \times 1,0 = 1.026,6 \text{ m}^3$
azotu	$1.026,6 \times 4,51 = 4630,0 \text{ m}^3$
pary wodnej	$1.026,6 \times 1,2 = 1.231,9 \text{ m}^3$