

Produkcja biogazu z komunalnych osadów ściekowych

Anna Bojanowicz-Bablok
Izabela Potapowicz

Warszawa, 2024

Plan prezentacji

1. Podstawy fermentacji metanowej

- Wprowadzenie do fermentacji metanowej
- Etapy fermentacji metanowej

2. Substraty w fermentacji metanowej

- Wsad do procesu fermentacji metanowej i jego charakterystyka
- Rodzaje substratów i ich podatność na biodegradację
- Potencjał produkcji metanu
- Przykłady obliczeń

3. Proces fermentacji metanowej

- Typowe procesy instalacji fermentacji metanowej
- Elementy biogazowni
- Wstępne przetwarzanie
- Proces fermentacji
- Czynniki wpływające na proces fermentacji metanowej
- Przykłady obliczeń

4. Produkty procesu fermentacji metanowej

- Produkty procesu fermentacji metanowej – biogaz i poferment
- Wykorzystanie energetyczne biogazu
- Przykłady obliczeń
- Produkcja energii z biogazu
- Przykłady obliczeń
- Oczyszczanie i uszlachetnianie biogazu
- Poferment

5. Przykłady biogazowni wykorzystujących osady ściekowe

Podstawy fermentacji metanowej

Wprowadzenie do fermentacji metanowej

Fermentacja metanowa (ang. *anaerobic digestion*) to proces biologiczny, w którym bakterie anaerobowe rozkładają materię organiczną w warunkach braku tlenu z wydzieleniem metanu.

Nazwa „fermentacja metanowa” została nadana przed poznaniem istoty tego procesu i może być myląca. W rzeczywistości jest to zespół przemian biochemicznych, które przebiegają beztlenowo.

Fermentacja metanowa w kontrolowanych warunkach odbywa się w komorze fermentacyjnej. Jest to szczelny, hermetyczny zbiornik lub system zbiorników.



Wprowadzenie do fermentacji metanowej

W fermentacji metanowej można przetwarzać wiele rodzajów materii organicznej, często określanej jako substraty.

W procesie powstaje biogaz i poferment.

Biogaz można wykorzystać jako odnawialne źródło energii do wytwarzania energii elektrycznej, ciepła lub paliwa do pojazdów, natomiast poferment można wykorzystać jako nawóz lub polepszacz gleby.



Kontrolowany system fermentacji metanowej ma wiele zalet:

- W trakcie procesu w wyniku rozkładu przez bakterie zmniejsza się ładunek organiczny (ilość biodegradowalnej materii organicznej), a tym samym objętość przetwarzanego wsadu zmniejsza się w stosunku do jego początkowej objętości przed procesem fermentacji.
- W procesie wychwytywany jest powstały biogaz. Zapobiega to niekontrolowanemu uwalnianiu metanu i dwutlenku węgla i w ten sposób zapobiega emisji gazów cieplarnianych do atmosfery.
- Wykorzystanie biogazu do produkcji energii pozwala na zastąpienie paliw kopalnych redukując emisje powodowane ich spalaniem.

Etapy fermentacji metanowej

Fermentacja metanowa zachodzi w następujących etapach:

1. Hydroliza. Materia organiczna (np. odpady spożywcze, obornik) jest najpierw rozkładana przez mikroorganizmy na prostsze związki. Złożone cząsteczki, takie jak białka, tłuszcze i węglowodany, są przekształcane w prostsze cukry, aminokwasy i kwasy tłuszczowe.
2. Kwasogeneza. Proste cząstki są dalej fermentowane przez bakterie do lotnych kwasów tłuszczowych, wodoru i dwutlenku węgla.
3. Acetogeneza. Lotne kwasy tłuszczowe i inne produkty pośrednie są przekształcane w kwas octowy, wodór i dwutlenek węgla.
4. Metanogeneza. Na ostatnim etapie bakterie metanogenne używają produktów acetogenezy do produkcji metanu i dodatkowego dwutlenku węgla.

Etapy fermentacji metanowej

- Hydroliza: Złożona materia organiczna → Proste cząstki
- Kwasogeneza: Proste cząstki → Lotne kwasy tłuszczowe, wodór, dwutlenek węgla
- Acetogeneza: Lotne kwasy tłuszczowe → Kwas octowy, wodór, dwutlenek węgla
- Metanogeneza: Kwas octowy, wodór, dwutlenek węgla → Metan, dwutlenek węgla

Każdy etap związany jest z różnymi populacjami mikroorganizmów. Czas potrzebny na rozkład biomasy do biogazu, lub większych cząstek do głównie metanu i dwutlenku węgla, różni się w zależności od charakteru wiązań chemicznych w węglowodanach znajdujących się w biomacie.

Schemat instalacji fermentacji metanowej



Substraty w fermentacji metanowej

Wsad do procesu fermentacji metanowej

Wsadem do procesu fermentacji metanowej może być wiele rodzajów materiałów, tzw. substratów:

Biomasa i odpady z rolnictwa:

- obornik i gnojowica zwierzęca
- pozostałości z upraw (np. słoma, siano, łuski, liście)
- kiszonki (np. z kukurydzy, z traw)
- rośliny energetyczne (np. sorgo)

Organiczna frakcja odpadów komunalnych (ang. *OFMSW*) (odpady żywności/kuchenne, odpady z ogrodów z wyjątkiem gałęzi)

WAŻNE: to wsad tworzy biogaz, nie komora fermentacyjna!

Osady ściekowe z oczyszczalni ścieków komunalnych (osad pierwotny i wtórny)

Odpady przemysłowe:

- z przemysłu spożywczego i napojów
- z przetwórstwa owoców i warzyw
- z browarów (np. zużyte ziarna, drożdże)
- mleczarskie (np. serwatka, odpady z produkcji sera)
- z przetwórstwa mięsa, w tym produkty uboczne zwierzęce (np. krew, tłuszcz, podroby)
- z przemysłu celulozowo-papierniczego (np. osady ściekowe, resztki z przetwarzania drewna)

Ścieki:

- z przetwórstwa mleczarskiego
- z browarów i destylarni
- z rzeźni

Charakterystyka wsadu

Przydatność substratu do fermentacji metanowej zależy od różnych czynników. Podstawowe to:

- **Podatność na biodegradację**, czyli łatwość, z jaką materiał organiczny może być rozkładany przez mikroorganizmy. Zależy ona od:
 - Zawartości łatwo rozkładalnych związków: Materiały bogate w węglowodany, białka i tłuszcze są bardziej podatne na biodegradację. Przykładem są odpady spożywcze.
 - Obecność trudnych do rozkładu związków: Materiały zawierające ligninę, celulozę czy chitynę są trudniejsze do rozłożenia przez mikroorganizmy, np. drewno i trociny.
- **Wielkość i porowatość cząstek**: substrat o mniejszych rozmiarach jest łatwiej rozkładany przez mikroorganizmy ze względu na większy stosunek powierzchni do objętości:
 - Mniejsze cząstki mają większą powierzchnię dostępną dla mikroorganizmów, co ułatwia biodegradację.
 - Materiały o większej porowatości mogą być łatwiej penetrowane przez mikroorganizmy.

Charakterystyka wsadu c.d.

- **Wilgotność:** zawartość wilgoci w substracie. Materiały o wysokiej zawartości wilgoci są bardziej podatne na biodegradację, ponieważ mikroorganizmy potrzebują wody do swojego metabolizmu.
- **Stosunek C/N** (stosunek węgla do azotu): optymalny stosunek C/N w przedziale 20:1 do 30:1 jest kluczowy dla aktywności mikroorganizmów i stabilności procesu fermentacji. Mikroorganizmy potrzebują zarówno węgla, jak i azotu do wzrostu i rozmnażania.
 - Wysoki stosunek C:N (zbyt dużo węgla) może prowadzić do niedoboru azotu, co ogranicza rozwój mikroorganizmów.
 - Niski stosunek C:N (zbyt dużo azotu) może powodować nadmierne tworzenie amoniaku, który jest toksyczny dla mikroorganizmów i może hamować proces fermentacji.
- **Obecność zanieczyszczeń**, takich jak materiały nieorganiczne (plastik, szkło, piasek), drewno, kości z odpadów żywności czy substancje niebezpieczne (pestycydy, antybiotyki, środki dezynfekujące) może utrudniać proces rozkładu i wymagać wstępnego przetworzenia (sortowania lub oczyszczania).
- **Stopień wstępnego przetworzenia:** mechaniczne, chemiczne lub biologiczne wstępne przetworzenie materiału (np. mielenie, kompostowanie) może zwiększyć jego podatność na biodegradację przez zwiększenie powierzchni dostępnej dla mikroorganizmów i rozkład trudnych do degradacji związków.

Rodzaje substratów i ich podatność na biodegradację

Materiały o wysokiej podatności na biodegradację:

Odpady spożywcze: Szybko rozkładające się przez mikroorganizmy, wysoka produkcja biogazu.

Obornik drobiowy: Bogaty w łatwo biodegradowalne składniki, szybki rozkład.

Kiszonka z kukurydzy: Bardzo łatwo dostępna dla mikroorganizmów, wysoka wydajność biogazu.

Materiały o średniej podatności na biodegradację:

Obornik krowi: Zawiera włókna trudniej rozkładające się, ale nadal dobrze biodegradowalny.

Odpady z przetwórstwa owoców i warzyw: Biodegradowalne, ale niektóre części (np. skórki) mogą wymagać więcej czasu.

Słoma: Średnio biodegradowalna, wymaga odpowiedniego przygotowania (np. mielenia) przed fermentacją.

Materiały o niskiej podatności na biodegradację:

Drewno i trociny: Zawierają ligninę, która jest trudna do rozłożenia przez mikroorganizmy.

Sierść zwierząt: Trudno rozkładająca się przez mikroorganizmy.

Łuski ryżowe: Wysoka zawartość krzemionki, trudna do biodegradacji.

Sucha masa i sucha masa organiczna

Zawartość suchej masy (ang. *total solids, TS*) określa procentowy udział wszystkich stałych substancji w danym materiale. Wpływa ona na konsystencję wsadu i jego przepływ w fermentatorze. Niska zawartość suchej masy (poniżej 10%) może prowadzić do problemów z mieszaniem i transportem wsadu, natomiast zbyt wysoka zawartość (powyżej 40%) może utrudniać równomierne rozkładanie materii organicznej przez mikroorganizmy i powodować blokady w systemie.

Zawartość suchej masy podaje się w %

Zawartość suchej masy organicznej (ang. *volatile solids, VS*) to procentowy udział składników organicznych w suchej masie. Jest to kluczowy wskaźnik do oceny potencjału energetycznego wsadu, ponieważ to właśnie materia organiczna jest źródłem biogazu. Wyższa zawartość VS oznacza większy potencjał produkcji biogazu. Jednak zbyt wysoka zawartość VS może prowadzić do nadmiernego nagromadzenia kwasów tłuszczowych, co z kolei może zakłócać proces fermentacji.

Zawartość suchej masy organicznej podaje się w % s.m.

Potencjał produkcji metanu



Potencjał produkcji metanu (ang. *Biochemical Methane Potential, BMP*) to miara zdolności danego materiału organicznego do wytwarzania metanu w procesie fermentacji metanowej. BMP określa ilość metanu, jaką można uzyskać z jednostki masy suchej materii organicznej (najczęściej wyrażoną w metrach sześciennych metanu na tonę suchej masy organicznej). Jest to kluczowy wskaźnik w ocenie efektywności materiałów organicznych do produkcji biogazu, który pozwala na optymalizację procesów fermentacji metanowej i lepsze zarządzanie zasobami surowcowymi w biogazowniach.

Potencjał produkcji metanu podaje się w $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{Mg s.m.org}$.

BMP daje teoretyczną maksymalną ilość metanu, jaką można uzyskać z określonego wsadu w idealnych warunkach laboratoryjnych.

Wyższy BMP oznacza, że dany materiał ma większy potencjał energetyczny i może być bardziej efektywnie wykorzystany w procesie produkcji biogazu.

BMP pozwala na porównanie różnych materiałów organicznych pod kątem ich przydatności do fermentacji beztlenowej, co pomaga w wyborze odpowiedniego wsadu do biogazowni.

Charakterystyka przykładowych substratów

Rodzaj substratu	Zawartość suchej masy [%]	Zawartość suchej masy organicznej [% s.m.org.]	Potencjał produkcji metanu z suchej masy organicznej [m ³ CH ₄ /Mg s.m.org.]
Odpady z przemysłu piekarniczego	87,7	97,1	403,4
Osady z miejskich oczyszczalni ścieków ^(*)	4,4	83,4	212,8
Fracja organiczna odpadów komunalnych	60,3	55,0	396,8 75-390 ^(**)
Odpady kuchenne i żywności	18,9 15-25 ^(**)	71,9 85-94 ^(**)	530,0 90-305 ^(**)
Skoszone rośliny i trawy (zieleń miejska)	23,2	88,2	489,7 310-408 ^(**)
Słoma	87,5	87,0	387,5
Siano	87,8	89,6	417,9
Kiszonka z kukurydzy	32,6	90,8	317,6
Obornik bydlęcy	23,7	76,4	249,4
Gnojowica bydlęca	9,5	77,4	225,5
Obornik świński	23,8	79,9	228,0
Gnojowica świńska	6,6	76,1	301,0
Obornik drobiowy	30,3	72,7	230,0
Gnojownica drobiowa	15,0	75,6	320,0

Obliczanie ilości powstającego metanu

Sposób obliczenia teoretycznej ilości metanu jaką można otrzymać rocznie przy fermentacji komunalnych osadów ściekowych przy założeniach:

- ilość osadów poddawanych fermentacji: 250 tys. m³ rocznie
- gęstość osadów ok. 1,030 Mg/m³
- zawartość suchej masy w osadach: 4,4%
- zawartość suchej masy organicznej w osadach: 83,4% s.m.
- potencjał produkcji metanu: 212,8 m³/Mg s.m.org.

$$\begin{aligned} \text{ilość suchej masy organicznej} &= \text{ilość osadów} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{rok}} \right] * \text{gęstość osadów} \left[\frac{\text{Mg}}{\text{m}^3} \right] * \text{zawartość s. m.} [\%] * \text{zawartość s. m. org.} [\%] \\ &= 250\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{rok}} * 1,03 \frac{\text{Mg}}{\text{m}^3} * \frac{4,4}{100} * \frac{83,4}{100} = 9449 \frac{\text{Mg s. m. org.}}{\text{rok}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ilość metanu} &= \text{ilość suchej masy organicznej} \left[\frac{\text{Mg s. m. org.}}{\text{rok}} \right] * \text{potencjał produkcji metanu} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{Mg s. m. org.}} \right] \\ &= 9449 \frac{\text{Mg s. m. org.}}{\text{rok}} * 212,8 \frac{\text{m}^3}{\text{Mg s. m. org.}} = 2\,010\,747 \frac{\text{m}^3 \text{CH}_4}{\text{rok}} \end{aligned}$$

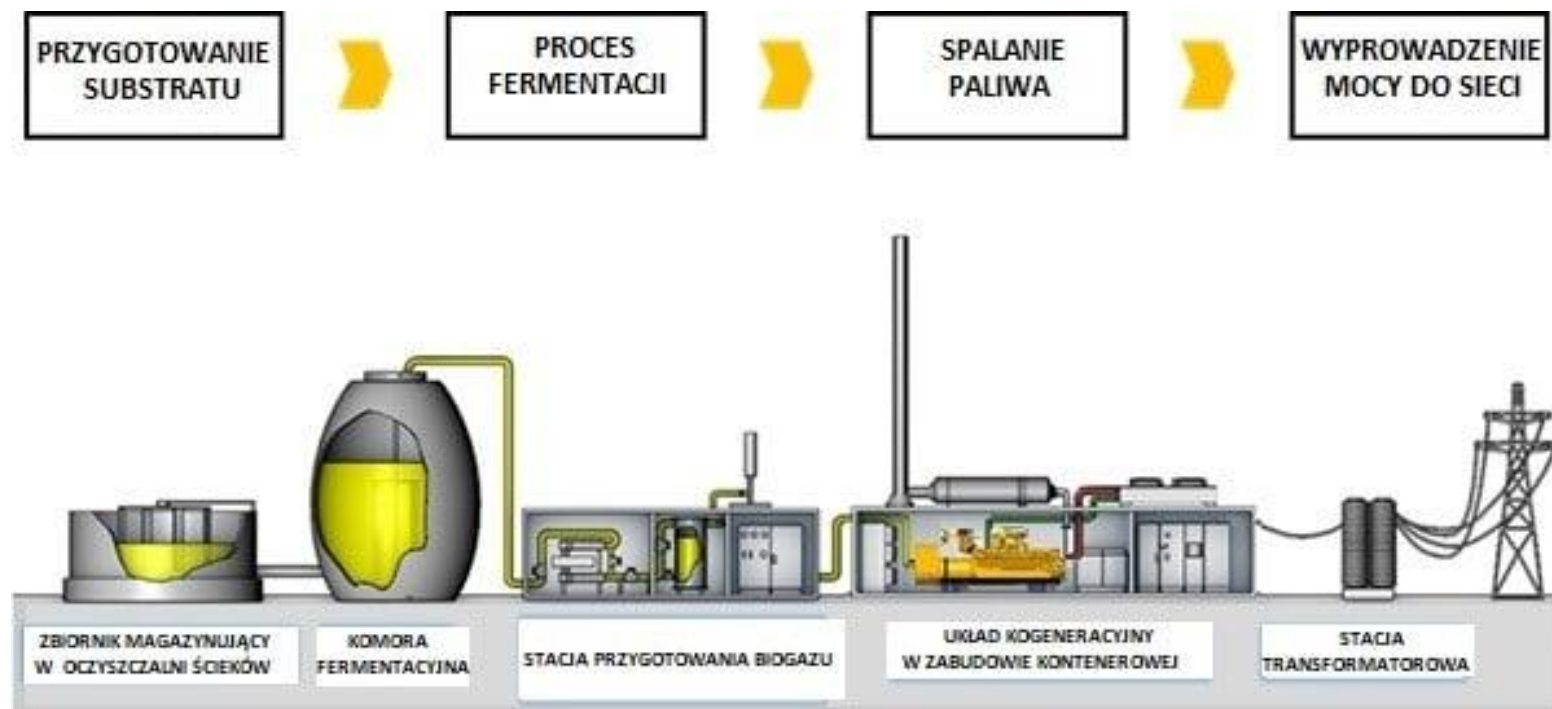
Proces fermentacji metanowej

Typowe procesy instalacji fermentacji metanowej

Typowe procesy zachodzące w obrębie instalacji fermentacji metanowej to:

- wstępne przetwarzanie;
- fermentacja zasadnicza;
- magazynowanie biogazu;
- oczyszczanie / uzdatnianie biogazu;
- wykorzystanie energetyczne biogazu;
- magazynowanie pofermentu.

Dodatkowym procesem, stosowanym w wybranych instalacjach jest uszlachetnianie biogazu do biometanu.



Źródło: <https://eneria.pl/blog/biogazownie-czyli-energia-z-natury/>

Elementy biogazowni

Każda biogazownia, bez względu na wybrany rodzaj przetwarzanego substratu, składa się z kilku podstawowych elementów:

- I – przechowywanie i obróbka wstępna substratu (w skład wchodzi m. in. zbiorniki substratu, pompy, macerator, układ higienizacji oraz układ przechowywania/odprowadzania surowca i uśredniania wsadu);
- II – komora fermentacyjna (może być zbudowana z różnych materiałów, np. betonu, tworzyw sztucznych, blachy stalowej; komora zazwyczaj wyposażona jest w mieszadło, detektor i wyłapywacz piany, miernik poziomu cieczy wewnątrz komory);
- III – system ogrzewania (zapewniający utrzymanie odpowiedniej dla wybranego procesu fermentacji temperatury, wyposażony w wymienniki ciepła);



Komory fermentacyjne biogazowni w Kleve, Niderlandy
Źródło: Pieter Delicaat; Wikimedia Commons

Elementy biogazowni c.d.

- IV – system instalacji gazowej (odpowiadający za odbiór, oczyszczanie i przechowywanie wytwarzanego biogazu; bardzo istotna w tym procesie jest odsiarczalnia);
- V – przechowywanie lub przetwarzanie pozostałości pofermentacyjnej (np. zbiornik na poferment, instalacja do dalszej obróbki pofermentu na nawóz, instalacja odwodnienia osadu – wirówka lub prasa);
- VI – bioelektrociepłownia wyposażona w agregaty kogeneracyjne produkujące energię elektryczną i ciepło (ciepło jest wykorzystywane technologicznie do podgrzewania wsadu w komorach fermentacyjnych oraz jako CO, a energia elektryczna do zasilania urządzeń elektrycznych). Ważnym elementem jest w tym układzie wymiennikownia ciepła, która podgrzewa materiał w komorach fermentacyjnych.



Zbiornik biogazu przy biogazowni w na terenie Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Jarocinie

Wstępne przetwarzanie

Wstępne przetwarzanie jest niezbędne do zapewnienia efektywności procesu fermentacji, maksymalizacji wydajności oraz obniżenia kosztów operacyjnych.

W trakcie wstępnego przetwarzania usuwane są materiały nieulegające biodegradacji i homogenizowany jest wsad.

Istnieje kilka różnych metod wstępnego przetwarzania:

- fizyczne: mechaniczne, termiczne, ultradźwiękowe, elektrochemiczne;
- chemiczne: zasadowe, kwasowe, oksydacyjne;
- biologiczne: mikrobiologiczne, enzymatyczne;
- procesy łączone: ekstruzja, termochemiczne.

Wstępne przetwarzanie c.d.

Wstępne przetwarzanie może być kluczowym etapem w procesie fermentacji. Wymagania zależą od rodzaju wsadu:

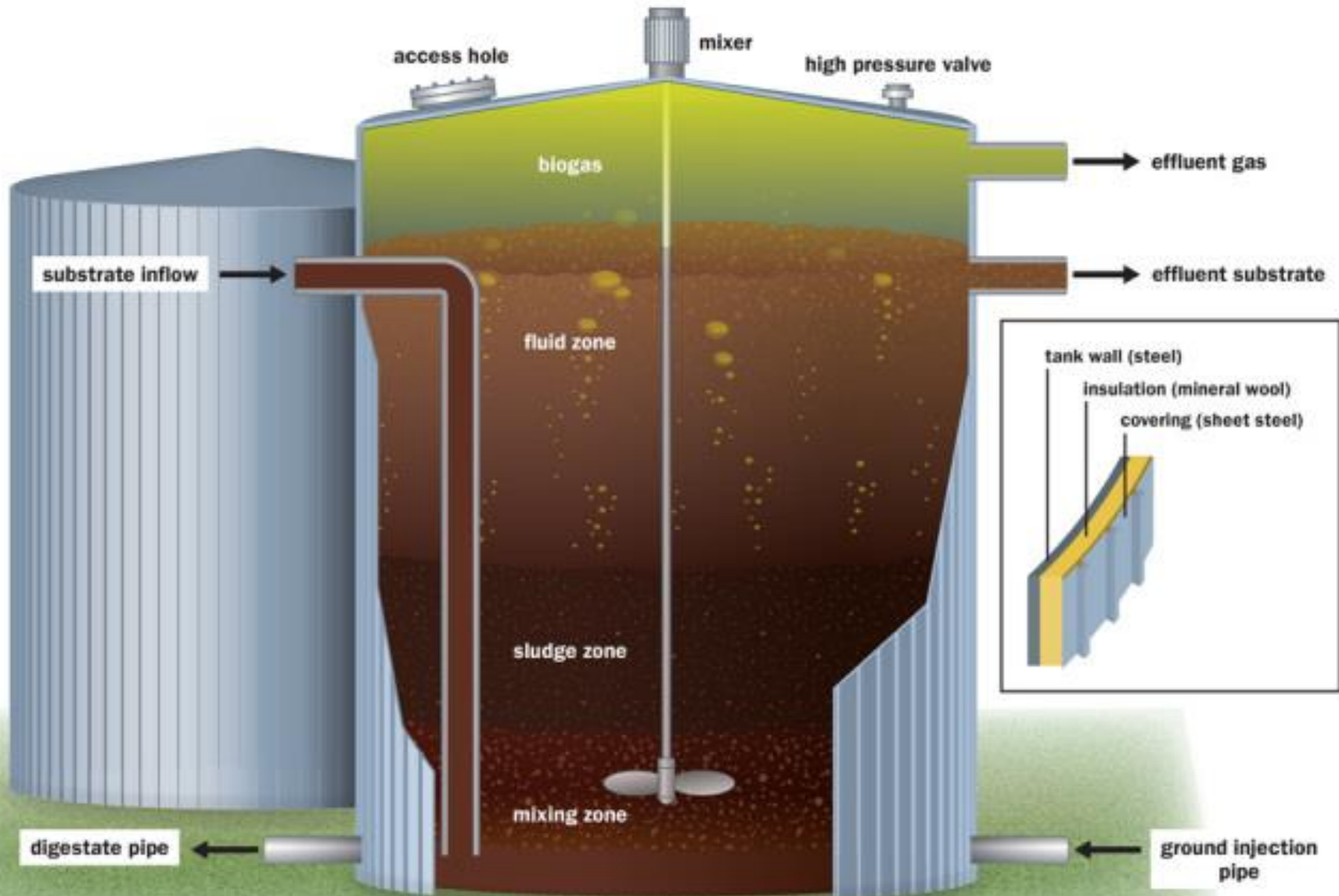
- usuwanie zanieczyszczeń, na przykład za pomocą sit, bębnow obrotowych i magnesów;
- maceracja (rozdrabnianie) wsadu, aby uzyskać odpowiednią konsystencję;
- pasteryzacja może być wymagana dla niektórych rodzajów wsadu (np. dla osadów ściekowych, produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego).

**Wstępne przetwarzanie może
pomóc zapobiec uszkodzeniom
na dalszych etapach procesu**

Proces fermentacji

Kryterium	Rodzaj technologii	Cechy charakterystyczne
Temperatura procesu	Mezofilowa	35-37°C, najczęściej stosowana.
	Termofilowa	55-60°C, rzadziej stosowana.
Zawartość suchej masy w komorze fermentacyjnej	Fermentacja mokra	Zawartość suchej masy <15%, substrat ma postać płynną
	Fermentacja sucha	Zawartość suchej masy 15-40%, substrat ma postać stałą
Liczba etapów procesu	Jednostopniowa	Instalacja obejmuje jedną komorę fermentacyjną
	Wielostopniowa	Instalacja obejmuje kilka komór fermentacyjnych, gdzie w poszczególnych stopniach prowadzone są różne procesy, np. w 1-wszym stopniu wstępne podgrzanie substratów
Stopień rozdzielenia poszczególnych faz procesu fermentacji	Jednofazowa	Hydroliza substratów i etap metanogenezy zachodzą w jednym reaktorze z równą intensywnością
	Wielofazowa	Hydroliza substratów i etap metanogenezy zachodzą w oddzielnych reaktorach
Sposób dozowania substratu do komory fermentacyjnej	Ciągły	Dozowanie substratów następuje równomiernie w sposób ciągły, co umożliwia utrzymanie stałego stopnia produkcji biogazu
	Okresowy	Napełnianie komory fermentacyjnej jednorazowo i jej opróżnienie po zakończeniu procesu. Stopień produkcji biogazu jest wyższy w początkowym okresie procesu, maleje wraz z upływem czasu.

Proces fermentacji w komorze fermentacyjnej



Źródło:

<https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.123-a180>

Czynniki wpływające na proces fermentacji metanowej

Efektywność procesu fermentacji metanowej zależy od różnych czynników m.in.:

Temperatura

Dla stabilności procesu fermentacji niezbędne jest zapewnienie odpowiedniej i stałej temperatury. Warunki mezofilne (30-40°C) i termofilne (50-60°C) wpływają na aktywność mikroorganizmów i tempo rozkładu materii organicznej. Najczęściej stosowana jest fermentacja mezofilowa, charakteryzująca się stabilnością procesu. Fermentacja w warunkach termofilnych zachodzi szybciej, charakteryzuje się większą wydajnością, ale wymaga dostarczenia więcej energii, a proces jest bardziej wrażliwy na zakłócenia.

pH

pH ma kluczowy wpływ na proces fermentacji metanowej, ponieważ wpływa na aktywność mikroorganizmów zaangażowanych w rozkład materii organicznej i produkcję metanu. Optymalne pH wynosi zazwyczaj między 6,8 a 7,5. Odchylenia mogą hamować aktywność mikroorganizmów i zakłócać proces fermentacji. Jednak optymalne pH jest różne dla populacji mikroorganizmów charakterystycznych dla poszczególnych etapów fermentacji.

Czynniki wpływające na proces fermentacji metanowej c.d.



Obciążenie komory fermentacji ładunkiem związków organicznych (ang. *organic loading rate*, *OLR*)

Odnosi się do ilości materii organicznej dostarczanej do fermentora w jednostce czasu. Zwykle wyraża się w kilogramach suchej masy organicznej na metr sześcienny objętości fermentora na dzień (kg s.m.org./m³/dzień). OLR jest kluczowym parametrem, który wpływa na efektywność procesu fermentacji.

Zbyt wysokie OLR może prowadzić do zbyt dużego obciążenia fermentora, co powoduje nadmierne gromadzenie się kwasów tłuszczowych i obniżenie pH. To z kolei może prowadzić do nieprawidłowego funkcjonowania mikroorganizmów metanogennych i zmniejszenia produkcji biogazu.

Zbyt niskie OLR przekłada się na niedostateczne wykorzystanie pojemności fermentora i niską wydajność produkcji biogazu.

$$\text{OLR} \left[\frac{\text{kg s. m. org.}}{\text{dzień} * \text{m}^3} \right] = \frac{\text{strumień suchej masy organicznej} \left[\frac{\text{kg s. m. org.}}{\text{dzień}} \right]}{\text{objętość komory fermentacyjnej} [\text{m}^3]}$$

Przykładowe OLR w zależności od rodzaju substratów

Rodzaj substratu	OLR [kg TS/m ³ /dzień]	Uwagi
Odpady spożywcze	4 – 10	Odpady spożywcze są bogate w materiały łatwo ulegające biodegradacji, co pozwala na stosunkowo wysokie wartości OLR
Odpady z przemysłu spożywczego (np. odpady browarnicze, odpady mleczarskie)	4 – 8	Wysoka zawartość składników łatwo ulegających biodegradacji pozwala na stosowanie stosunkowo wysokiego OLR
Kiszonka z kukurydzy	3 – 8	Kiszonka z kukurydzy stosunkowo łatwo ulega biodegradacji co pozwala na stosowanie wysokiego OLR
Obornik zwierzęcy (krowi, świński, drobiowy)	2 – 5	Obornik zwierzęcy, ze względu na zawartość materii organicznej i struktury włóknistej, wymaga umiarkowanego OLR
Słoma i inne resztki roślinne	1 – 3	Materiały te, ze względu na wyższą zawartość ligniny i niższą podatność na biodegradację, wymagają niższego OLR
Osady ściekowe	1 – 3	Osady ściekowe, z powodu zróżnicowanego składu i możliwego występowania zanieczyszczeń, wymagają niższych OLR

Czynniki wpływające na proces fermentacji metanowej c.d.



Hydrauliczny czas retencji, czas zatrzymania w komorze (ang. *hydraulic retention time, HRT*)

Określa średni czas przetrzymywania wsadu w komorze fermentacyjnej. HRT dostosowuje się do rodzaju substratów, aby zapewnić ich pełny rozkład. Wsad zawierający więcej substratów o niskiej podatności na biodegradację wymaga dłuższego HRT. HRT zależy też od temperatury fermentacji (dla danego substratu wyższa temperatura procesu wymaga krótszego HRT).

Wydajność procesu fermentacji można zwiększyć stosując wstępną obróbkę np. rozdrabniając wsad lub przez zastosowanie hydrolizy wysokociśnieniowej (zastosowanie wysokiej temperatury i ciśnienia).

$$\text{HRT [doby]} = \frac{\text{objętość komory fermentacyjnej [m}^3\text{]}}{\text{dobowa objętość wsadu zadawanego do komory fermentacyjnej} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{dzień}} \right]}$$

Przykładowe HRT w zależności od rodzaju substratów

Rodzaj substratu	HRT [dzień]	Uwagi
Słoma i inne resztki roślinne	40 – 60	Słoma i resztki roślinne trudniej ulegają biodegradacji, co wymaga wyższego HRT
Obornik zwierzęcy (krowi, świński, drobiowy)	20 – 40	Obornik zwierzęcy, ze względu na zawartość włóknistych materiałów, wymaga wyższego HRT
Kiszonka z kukurydzy	20 – 35	Czas biodegradacji kiszonki z kukurydzy jest umiarkowany, co wymaga stosowania średniego HRT
Odpady spożywcze	15 – 30	Odpady spożywcze łatwo ulegają biodegradacji, co pozwala na stosowanie stosunkowo niskiego HRT
Osady ściekowe	15 – 30	Osady ściekowe mogą mieć zróżnicowany skład, co wpływa na czas potrzebny do ich pełnej fermentacji.
Odpady z przemysłu spożywczego (np. odpady browarnicze, odpady mleczarskie)	15 – 25	Wysoka zawartość składników łatwo ulegających biodegradacji pozwala na niższe HRT

Obliczanie wymaganej objętości komory fermentacyjnej

Sposób policzenia teoretycznej objętości komory fermentacyjnej biogazowni wykorzystującej osady ściekowe przy założeniach:

- objętość powstających osadów: 250 tys. m³ rocznie
- HRT: 20 dni

$$\text{dobowa objętość wsadu zadawanego do komory fermentacyjnej} = \frac{\text{objętość powstających osadów [m}^3\text{]}}{365 \text{ dni}} =$$
$$\frac{250\,000 \text{ m}^3}{365 \text{ dni}} = 685 \frac{\text{m}^3}{\text{dzień}}$$

objętość komory fermentacyjnej

$$= \text{HRT [dzień]} * \text{dobowa objętość wsadu zadawanego do komory fermentacyjnej} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{dzień}} \right]$$

$$= 20 \text{ dni} * 685 \frac{\text{m}^3}{\text{dzień}} = 13\,700 \text{ m}^3$$

Produkty procesu fermentacji metanowej

Produkty procesu fermentacji metanowej – biogaz i poferment

W procesie fermentacji metanowej w wyniku rozkładu materii organicznej uwalniany jest bogaty w metan gaz zwany biogazem.



Pozostała po procesie fermentacji metanowej materia organiczna to poferment, który może być wartościowym nawozem.



Biogaz

Biogaz to określenie gazu bogatego w metan produkowanego w procesie fermentacji metanowej.

Potencjał energetyczny w biogazie odnosi się do ilości energii, która może być uzyskana z biogazu w wyniku jego spalania lub przekształcania na inne formy energii.

Biogaz składa się głównie z metanu (CH_4) i dwutlenku węgla (CO_2), a jego wartość energetyczna jest głównie determinowana przez zawartość metanu:

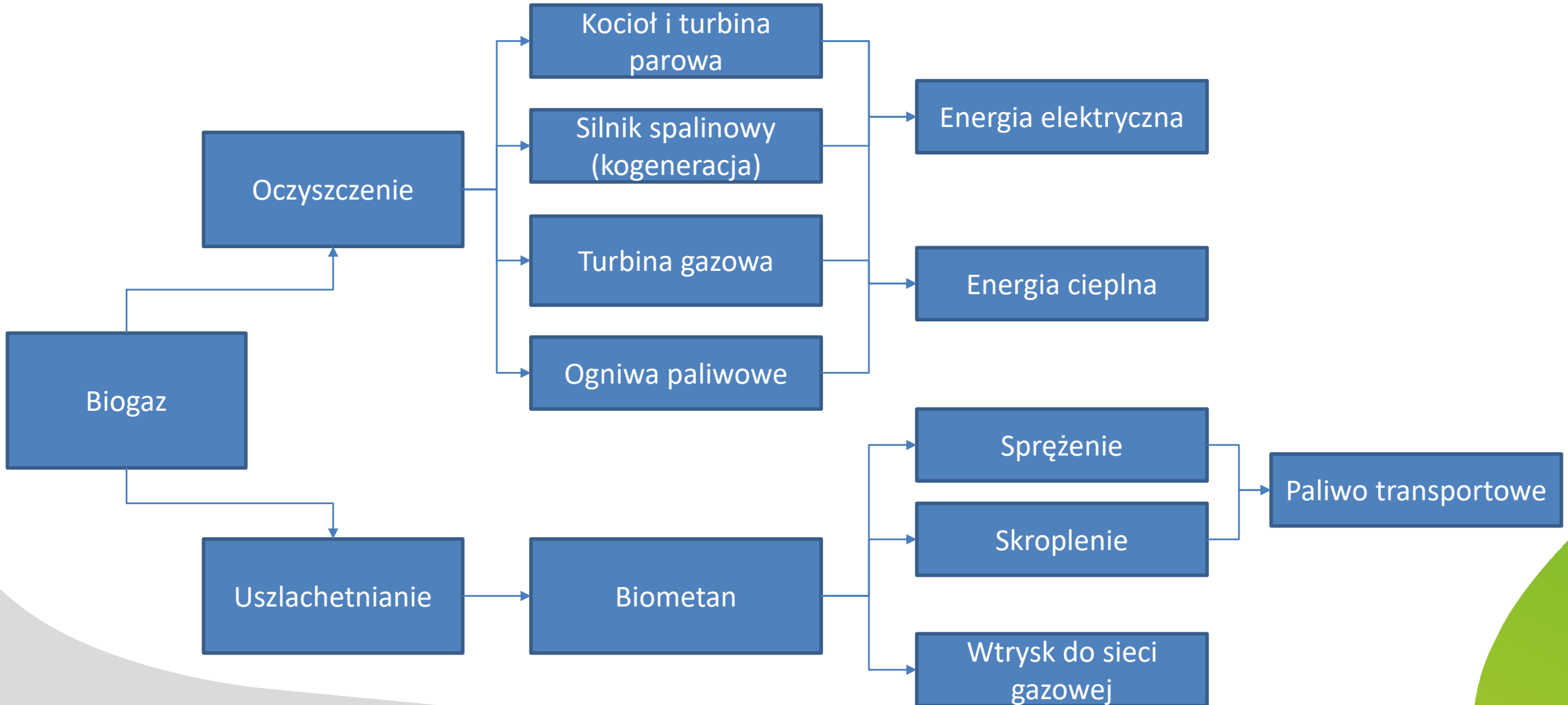
- zwykle zawiera od 50 do 75% metanu, od 25 do 50% dwutlenku węgla oraz śladowe ilości innych gazów;
- wartość kaloryczna biogazu (czyli ilość energii zawarta w jednostce objętości) zależy od zawartości metanu;
- przeciętna wartość kaloryczna biogazu wynosi około 21 MJ/m^3 (megadżuli na metr sześcienny), ale może się wahać w granicach $20\text{-}25 \text{ MJ/m}^3$; jest zbliżona do wartości opałowej gazu średniokalorycznego, jednak znacznie odbiega od wartości charakterystycznej dla gazu ziemnego;
- metan sam w sobie ma wartość kaloryczną około 38 MJ/m^3 ;
- wydajność produkcji i skład biogazu zależą od zastosowanych substratów i przeprowadzonego procesu fermentacyjnego.

Skład chemiczny biogazu

Skład chemiczny biogazu w zależności od źródła pochodzenia substratów

Składnik	Jednostka	Odpady z gospodarstw domowych	Osad z oczyszczalni ścieków	Odpady rolniczych	Odpady z przemysłu rolnospożywczego
CH ₄	% obj.	50–60	60–75	60–75	68
CO ₂		34–38	19–33	19–33	26
N ₂		0–5	0–1	0–1	-
O ₂		0–1	< 0,5	< 0,5	-
H ₂ O	% obj. (w 40°C)	6	6	6	6
H ₂ S	mg/m ³	100–900	1000–4000	3000–10 000	100
NH ₃		-	-	50–100	400
Związki aromatyczne		0–200	-	-	-
Związki chlorowco-organiczne lub fluoroorganiczne		100–800	-	-	-

Wykorzystanie energetyczne biogazu



Wykorzystanie energetyczne biogazu

Energetyczny potencjał biogazu może być wykorzystywany w następujący sposób:

- biogaz może być **spalany w kotłach** do produkcji ciepła;
- biogaz może być używany **do napędzania silników gazowych (spalinowych)**, które generują zarówno energię elektryczną, jak i ciepłą (kogeneracja);
- biogaz może być wykorzystany **w turbinach gazowych** do produkcji energii elektrycznej;
- biogaz można oczyścić z dwutlenku węgla i innych zanieczyszczeń **uszlachetniając go do biometanu**, który ma podobne właściwości do gazu ziemnego i może być wprowadzony do sieci gazowej.

Biogaz uszlachetniony do biometanu może zostać przekształcony w:

- **sprężony biogaz** (ang. *compressed biogas, CBG*), który może być używany jako paliwo w pojazdach;
- **skroplony biogaz** (ang. *liquified biogas, LBG*), który również może być stosowany jako paliwo do pojazdów.

Obliczanie potencjału energetycznego biogazu



Potencjał energetyczny biogazu to miara ilości energii, jaką można uzyskać z biogazu, zależna od jego składu i wartości kalorycznej. Jest to kluczowy parametr do oceny efektywności procesów produkcji i wykorzystania biogazu w różnych zastosowaniach energetycznych.

Potencjał energetyczny biogazu można obliczyć na podstawie jego objętości i zawartości metanu:

Aby przeliczyć potencjał energetyczny z megadżuli (MJ) na kilowatogodziny (kWh) korzysta się z następującego przelicznika: 1 kWh = 3,6 MJ

$$\text{Potencjał energetyczny [MJ]} = \text{objętość biogazu [m}^3\text{]} * \text{wartość kaloryczna biogazu } \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\text{Potencjał energetyczny [kWh]} = \frac{\text{potencjał energetyczny [MJ]}}{3,6}$$

Obliczanie potencjału energetycznego biogazu

Jaki jest potencjał energetyczny 1 000 m³ biogazu o zawartości metanu 60% (co daje wartość kaloryczną biogazu około 21 MJ/m³)?

$$\begin{aligned} \text{Potencjał energetyczny [MJ]} &= \text{objętość biogazu [m}^3\text{]} * \text{wartość kaloryczna biogazu} \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right] = 1\,000 \text{ m}^3 * 21 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \\ &= 21\,000 \text{ MJ} \end{aligned}$$

$$\text{Potencjał energetyczny [kWh]} = \frac{\text{potencjał energetyczny [MJ]}}{3,6} = \frac{21\,000 \text{ MJ}}{3,6} = 5\,833,3 \text{ kWh}$$

Produkcja energii z biogazu

Biogaz można wykorzystać w układach skojarzonej produkcji energii cieplnej i elektrycznej (ang. *Combined Heat and Power Generation, CHP*).

Biogaz spalany jest w silniku spalinowym, który napędza prądnicę agregatową. W prądnicy powstaje energia elektryczna.

Ciepło pochodzi od procesów spalania w silniku. Ciepło to jest odzyskiwane poprzez wymienniki ciepła, włączone w układ chłodzenia oraz w układ wydechowy silnika. W wymiennikach znajduje się zimna woda, która ogrzewa się i staje się nośnikiem użytecznej energii cieplnej do wykorzystania na cele technologiczne i bytowe.

Wnętrze Elektrociepłowni Biogazowej przy Oczyszczalni Ścieków Gdańsk Wschód
Źródło: <https://www.giwk.pl/infrastruktura/elementy-infrastruktury/elektrociepownia-biogazowa/>



Produkcja energii z biogazu



Przeciętna sprawność elektryczna i cieplna agregatów CHP (układów skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej) może się różnić w zależności od technologii, skali systemu i warunków operacyjnych.

Przeciętne wartości:

- Sprawność elektryczna:
 - Małe jednostki CHP (do 1 MW): przeciętna sprawność elektryczna wynosi od 25% do 35%.
 - Średnie i duże jednostki CHP (powyżej 1 MW): sprawność elektryczna wynosi od 35% do 45%.
- Sprawność cieplna:
 - Małe jednostki CHP: przeciętna sprawność cieplna wynosi od 50% do 60%.
 - Średnie i duże jednostki CHP: sprawność cieplna może wynosić od 40% do 50%.
- Całkowita sprawność (łączna sprawność, która obejmuje zarówno produkcję energii elektrycznej, jak i cieplnej), może osiągnąć od 75% do 90%.

Przykład:

Mały układ CHP: sprawność elektryczna 30%, sprawność cieplna 55%, łączna sprawność 85%.

Duży układ CHP: sprawność elektryczna 40%, sprawność cieplna 45%, łączna sprawność 85%.

Obliczanie produkcji energii z biogazu

Znajomość rocznej produkcji metanu umożliwia obliczenie energii wytwarzanej w biogazowni. Przy obliczaniu produkcji energii w kogeneracji należy uwzględnić następujące parametry:

- wartość kaloryczna metanu zawartego w biogazie;
- sprawność elektryczna i cieplna agregatu;
- czas pracy agregatu w ciągu roku: 7 500 – 8 300 godzin (dyspozycyjność urządzenia na poziomie 85-95%), średnio przyjmuje się 8 000 godzin pracy urządzenia w ciągu roku;
- ilość wyprodukowanej energii elektrycznej brutto i netto: całkowita produkcja energii elektrycznej pomniejszona jest o zużycie na potrzeby technologiczne biogazowni, wynikające z użycia mieszadeł, pomp, układów sterowania, oświetlenia itp., które zużywają średnio ok. 9% wyprodukowanej energii;
- ilość wyprodukowanego ciepła brutto i netto: całkowita produkcja ciepła brutto pomniejszona jest o zużycie ciepła na cele technologiczne biogazowni. Przyjmuje się, że w skali roku ciepło wykorzystywane na potrzeby technologiczne to 25-40% całkowitej produkcji. Należy jednak zwrócić uwagę na sezonowe wahania, szczególnie w sezonie zimowym (grzewczym), gdy zapotrzebowanie na ciepło procesowe do ogrzania komory jest większe, a tym samym zmniejsza się ilość ciepła możliwego do sprzedaży na zewnątrz lub do ogrzewania własnych pomieszczeń.

Obliczanie produkcji energii z biogazu

Jaka powinna być teoretyczna moc elektryczna agregatu i jaka będzie produkcja energii elektrycznej i ciepłej brutto przy założeniu:

- ilość biogazu: 1 500 000 m³/rok;
- wartość kaloryczna biogazu: 22,5 MJ/m³;
- sprawność elektryczna agregatu: 35%;
- sprawność cieplna agregatu: 55%;
- czas pracy agregatu w ciągu roku: 8 000 godzin;
- zużycie energii elektrycznej na cele technologiczne: 10%;
- zużycie energii ciepłej na cele technologiczne: 30%.

Obliczanie produkcji energii z biogazu c.d.

Krok 1. Obliczenie całkowitego potencjału energetycznego biogazu

$$\begin{aligned} \text{Potencjał energetyczny [MJ]} &= \text{objętość biogazu [m}^3\text{]} * \text{wartość kaloryczna biogazu } \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right] \\ &= 1\,500\,000 \text{ m}^3 * 22,5 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} = 33\,750\,000 \text{ MJ} \end{aligned}$$

$$\text{Potencjał energetyczny [kWh]} = \frac{\text{potencjał energetyczny [MJ]}}{3,6} = \frac{33\,750\,000 \text{ MJ}}{3,6} = 9\,375\,000 \text{ kWh}$$

Krok 2. Uwzględnienie sprawności elektrycznej i cieplnej agregatu

$$\begin{aligned} \text{Rzeczywista energia elektryczna} &= \text{potencjał energetyczny [kWh]} * \text{sprawność elektryczna} \\ &= 9\,375\,000 * 0,35 = 3\,281\,250 \text{ kWh} = 3\,281,25 \text{ MWh} = 3,28 \text{ GWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rzeczywista energia cieplna} &= \text{potencjał energetyczny [MJ]} * \text{sprawność cieplna} \\ &= 33\,750\,000 * 0,55 = 18\,562\,500 \text{ MJ} = 18\,562,5 \text{ GJ} \end{aligned}$$

Obliczanie produkcji energii z biogazu c.d.

Krok 3. Obliczenie teoretycznej mocy elektrycznej

$$\text{Moc elektryczna [kW]} = \frac{\text{rzeczywista energia elektryczna [kWh]}}{\text{liczba godzin pracy agregatu [h]}} = \frac{3\,281\,250 \text{ kWh}}{8000 \text{ h}} = 410 \text{ kW}$$

Krok 4. Obliczenie energii elektrycznej i cieplnej netto uwzględniając zużycie na cele technologiczne

$$\begin{aligned} \text{Ilość energii elektrycznej netto} &= \text{rzeczywista energia elektryczna [kWh]} * 0,9 \\ &= 3\,281\,250 \text{ kWh} * 0,9 = 2\,953\,125 \text{ kWh} = 2\,953,13 \text{ MWh} = 2,95 \text{ GWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ilość energii cieplnej netto} &= \text{rzeczywista energia cieplna [MJ]} * 0,7 = 18\,562\,500 \text{ MJ} * 0,7 \\ &= 12\,993\,750 \text{ MJ} = 18\,993,75 \text{ GJ} \end{aligned}$$

Przykład elektrociepłowni biogazowej na terenie Oczyszczalni Ścieków Gdańsk Wschód

Na terenie oczyszczalni w 2012 roku uruchomiona została Elektrociepłownia Biogazowa. Biogaz produkowany jest w czterech komorach mezofilowej fermentacji beztlenowej o pojemności 7 000 m³ każda.

Zawartość suchej masy w osadzie = 5,1%

OLR = 1,7 kg s.m.org./m³

HRT = 28 dni

Wskaźnik produkcji biogazu: 0,49 Nm³/kg s.m.org.

Produkcja biogazu: 17 915 Nm³/dzień

Kaloryczność biogazu: 21,34 MJ/Nm³



Zamknięte komory fermentacyjne na terenie Oczyszczalni Ścieków Gdańsk Wschód
Źródło: <https://www.giwk.pl/infrastruktura/elementy-infrastruktury/elektrociepownia-biogazowa/>

Przykład elektrociepłowni biogazowej na terenie Oczyszczalni Ścieków Gdańsk Wschód

Wytworzony biogaz magazynowany jest w dwóch powłokowych, bezciśnieniowych zbiornikach o pojemności 2 500 m³ każdy.



Zbiorniki biogazu na terenie Oczyszczalni Ścieków Gdańsk Wschód

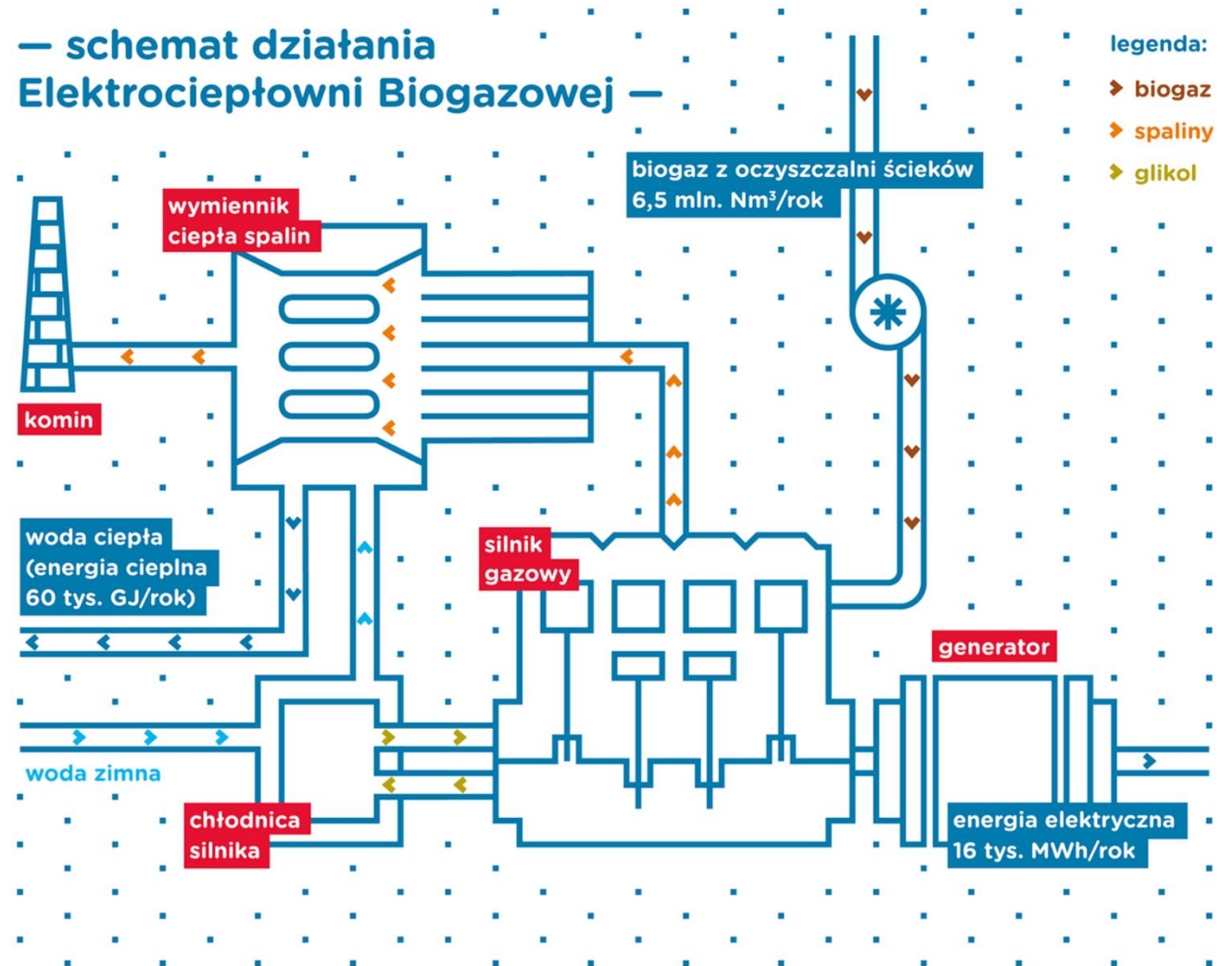
Źródło: <https://www.giwk.pl/infrastruktura/elementy-infrastruktury/elektrocieplovnia-biogazowa/>

Przykład elektrociepłowni biogazowej na terenie Oczyszczalni Ścieków Gdańsk Wschód

Zainstalowane jednostki kogeneracyjne pozwalają na jednoczesną produkcję energii elektrycznej i ciepłej.

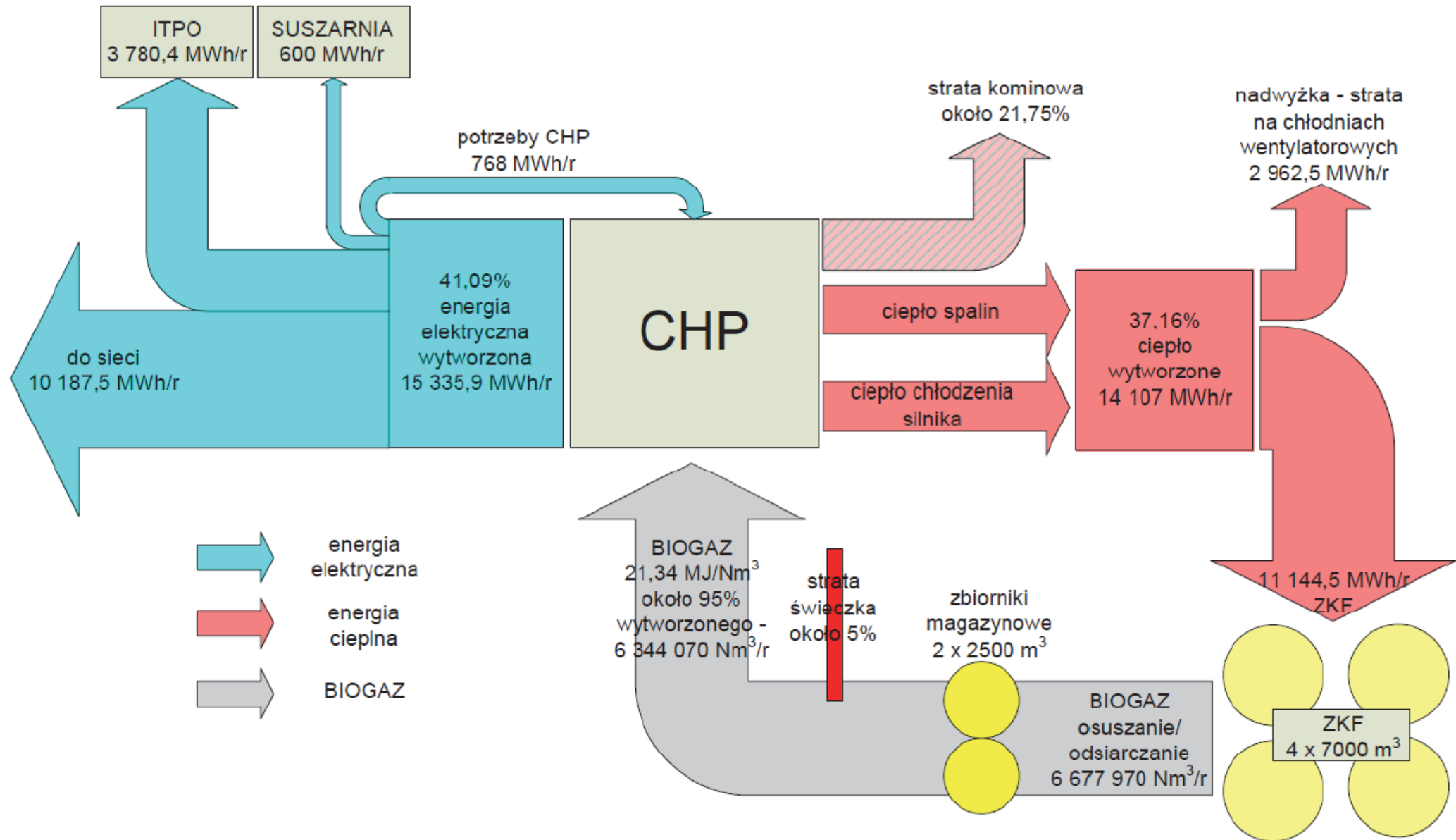
Elektrociepłownia biogazowa składa się z 4 agregatów prądotwórczych, które mogą wytworzyć 716 kW energii elektrycznej i 729 kW energii ciepłej każdy.

— schemat działania Elektrociepłowni Biogazowej —



Przykład elektrociepłowni biogazowej na terenie Oczyszczalni Ścieków Gdańsk Wschód

Bilans energii elektrycznej i ciepłej w 2016 r. w elektrociepłowni biogazowej na terenie Oczyszczalni Ścieków Gdańsk Wschód





Obiekty na terenie Oczyszczalni Ścieków Gdańsk Wschód.
Źródło: <https://www.giwk.pl/infrastruktura/elementy-infrastruktury/elektrociepownia-biogazowa/#gallery-11>



Oczyszczanie biogazu



Najbardziej pożądanym składnikiem biogazu jest metan, jednak uzyskany w procesie fermentacji metanowej biogaz zawiera ponadto wiele substancji niepożądanych, które uniemożliwiają jego bezpośrednie wykorzystanie ze względu na ich szkodliwość dla instalacji spalania lub, jak CO₂, zajmują objętość podczas składowania i przesyłu.

W zależności od przeznaczenia biogaz może zostać oczyszczony lub oczyszczony i dodatkowo uszlachetniony.

Usunięcie cząstek stałych: biogaz zawiera cząstki stałe, które należy usunąć.

Usunięcie wilgoci: biogaz zawiera parę wodną, która może kondensować i powodować problemy w systemach spalania oraz rurociągach. Osuszenie biogazu zwiększa efektywność jego spalania i zapobiega korozji instalacji.

Usunięcie związków siarki: siarkowodór (H₂S) jest toksyczny i łącząc się z parą wodną obecną w biogazie tworzy kwas siarkowy, który powoduje korozję metali w systemach gazowych, co skraca żywotność urządzeń takich jak silniki spalinowe i rurociągi. Oczyszczanie biogazu z H₂S zapobiega uszkodzeniom i zmniejsza koszty konserwacji.

Oczyszczanie biogazu c.d.



Usunięcie siloksanów: siloksany to szeroka grupa organicznych związków krzemu, które powodują problemy eksploatacyjne układów spalania biogazu. Ponieważ mają właściwości ścierające powodują niszczenie silników podczas spalania paliwa biogazowego je zawierającego. Oczyszczanie biogazu zapewnia bezpieczne użytkowanie urządzeń.

Usunięcie amoniaku i innych zanieczyszczeń: w przypadku substratów w postaci odpadów z przemysłu spożywczego, w szczególności rybnego, w biogazie mogą pojawić się znaczne ilości amoniaku. Amoniak (NH_3) jest gazem toksycznym, wzmacnia uciążliwość odorową, a w przypadku spalania biogazu jest źródłem emisji tlenków azotu (NO_x). Oczyszczanie biogazu redukuje te emisje, przyczyniając się do ochrony środowiska. Usuwanie amoniaku łączone jest z innymi procesami oczyszczania.

Efektem oczyszczenia biogazu jest biogaz o zmniejszonej zawartości zanieczyszczeń, gotowy do bezpośredniego spalania w generatorach lub kotłach, ale jeszcze nie na poziomie jakości wymaganym do wprowadzenia do sieci gazowej lub użycia jako paliwo do pojazdów.

Oczyszczanie biogazu jest kluczowe dla jego efektywnego, bezpiecznego i ekonomicznego wykorzystania.

Uszlachetnienie biogazu do biometanu



Wstępnie oczyszczony gaz jest poddawany uszlachetnieniu. Celem uszlachetnienia jest podniesienie jakości biogazu do poziomu, który pozwala na jego wykorzystanie jako zamiennika gazu ziemnego (biometan).

Usunięcie dwutlenku węgla: biogaz zawiera 25-50% dwutlenku węgla (CO_2), który nie ma wartości energetycznej. Usunięcie CO_2 zwiększa koncentrację metanu (CH_4), poprawiając wartość kaloryczną biogazu.

Biometan może być wprowadzony do sieci gazowej, używany jako paliwo do pojazdów lub wykorzystany w innych zastosowaniach wymagających wysokiej jakości gazu.

Metody usuwania dwutlenku węgla z biogazu

Wśród metod usuwania dwutlenku węgla z biogazu wyróżniane są:

- fizyczna absorpcja;
- chemiczna adsorpcja;
- ciśnieniowa adsorpcja;
- membranowa separacja;
- kriogeniczna separacja;
- biologiczna konwersja;
- metoda in situ (bardzo rzadko spotykana).

Oczyszczanie i uszlachetnianie biogazu - podsumowanie

Dostępne technologie oczyszczania biogazu pozwalają m. in. na wyróżnienie trzech stopni oczyszczania biogazu.

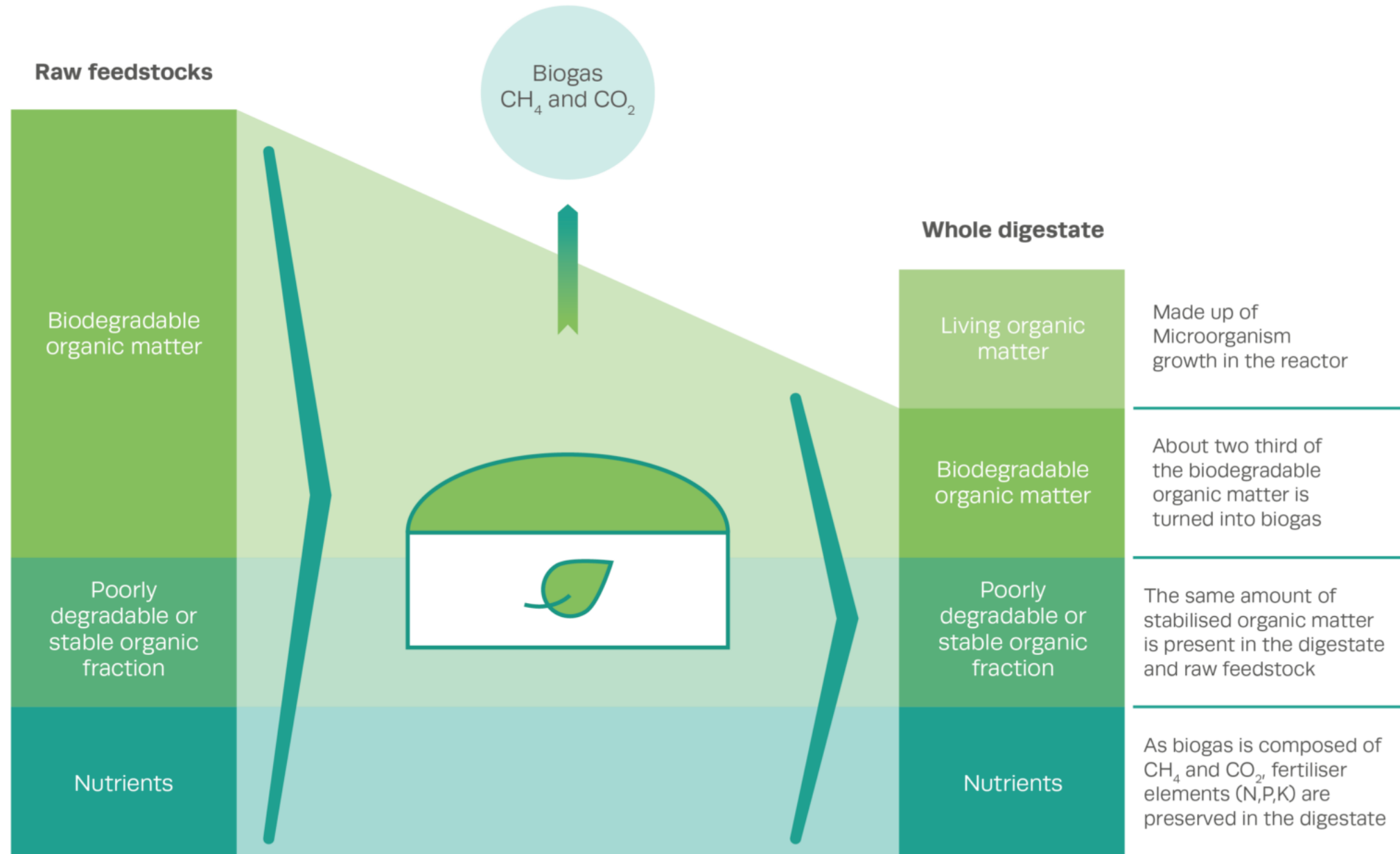
Stopień oczyszczania biogazu	Opis procesu oczyszczania	Możliwości wykorzystania produktu
I stopień	Usunięcie pary wodnej oraz usunięcie H ₂ S (poniżej poziomu 1000 ppm)	Spalanie w piecach w celu uzyskania ciepła lub pary wodnej Spalanie w mikroturbinach lub silnikach Stirlinga
II stopień	Usunięcie pary wodnej oraz usunięcie H ₂ S (poniżej poziomu 1000 ppm) oraz Usunięcie CO ₂ (poniżej 5% objętości)	Spalanie w mikroturbinach, silnikach CHP lub silnikach Stirlinga
III stopień	Usunięcie pary wodnej oraz usunięcie H ₂ S (poniżej poziomu 1000 ppm) oraz Usunięcie CO ₂ (poniżej 5% objętości) oraz Usunięcie różnorodnych zanieczyszczeń poniżej założonych/wymaganych poziomów	Zatłaczanie biogazu do sieci gazu ziemnego Produkcja paliw CBG (compressed biogas) lub LBG (liquid biogas) do pojazdów Produkcja substancji chemicznych

Ograniczanie emisji gazów cieplarnianych przez zastąpienie paliw biogazem

Zastępując paliwa kopalne biogazem można osiągnąć następujące oszczędności w zakresie emisji dwutlenku węgla (oszczędności na tonę przetworzonych bioodpadów):

- Wykorzystywanie biogazu jako paliwa pojazdu pozwala zaoszczędzić 97 kg ekwiwalentu CO₂ na tonę
- Wykorzystywanie biogazu do wytwarzania kogeneracji na miejscu (CHP) pozwala zaoszczędzić 86 kg ekwiwalentu CO₂ na tonę
- Tłoczenie biogazu bezpośrednio do sieci gazowej pozwala zaoszczędzić 85 kg ekwiwalentu CO₂ na tonę
- Wykorzystywanie biogazu do produkcji energii elektrycznej pozwala zaoszczędzić 62 kg ekwiwalentu CO₂ na tonę

Od substratu do pofermentu



Poferment

Poferment, znany również jako digestat, to produkt uboczny procesu fermentacji beztlenowej w biogazowni.

Forma: może występować w formie płynnej, półpłynnej lub stałej, w zależności od procesu technologicznego i rodzaju użytej biomasy.

Skład: poferment składa się głównie z substancji organicznych, które nie uległy całkowitemu rozkładowi podczas procesu fermentacji. Zawiera także składniki odżywcze, takie jak azot, fosfor, potas i mikroelementy, które są korzystne dla roślin.

Wartość jako nawóz: poferment jest ceniony jako nawóz organiczny, ponieważ zawiera wartościowe składniki odżywcze, które mogą poprawić jakość gleby i wspierać wzrost roślin.

Stabilność: proces fermentacji beztlenowej prowadzi do stabilizacji materii organicznej, co oznacza, że poferment ma mniejszą tendencję do emisji nieprzyjemnych zapachów w porównaniu do surowej biomasy.

Przykłady biogazowni wykorzystujących osady ściekowe

Regionalne Centrum Gospodarki Wodno-Ściekowej S.A.



Lokalizacja: Oczyszczalnia Ścieków w Tychach Urbanowicach, woj. śląskie, Polska

Rok powstania: 2006 (2018 zakończenie modernizacji biogazowni i otwarcie Parku Wodnego w Tychach)

Moc zainstalowana: 1,09 MW (oczyszczalnia) i 1,2 MW (Park Wodny)

Strona: <https://www.rcgw.pl/>

Substrat:

- osad ściekowy z oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych z obszaru Miasta Tychy doprowadzanych do oczyszczalni przez miejską sieć kanalizacyjną (ok. 400 km długości) zarządzaną przez Spółkę RCGW;
- odpady biodegradowalne z przemysłu dostarczane przez firmy zewnętrzne do zagospodarowania; część odpadów wymaga obróbki wstępnej w stacji pasteryzacji. Przepustowość: 103 tys. m³ odpadów/rok (ok. 100 Mg/rok).

Proces:

Kofermentacja metanowa mezofilowa: osady ściekowe i odpady biodegradowalne z przemysłu poddawane są fermentacji w 2 wydzielonych komorach fermentacyjnych (WKF) o objętości 5500 m³ każda. Substraty są doprowadzane do 5-6% suchej masy.

Produkty:

- Biogaz i biometan – wydajność produkcji biogazu to 708 m³/h (stan na 2020 r.), zawartość metanu w biogazie: 60%. Biogaz, po oczyszczeniu, jest częściowo wykorzystywany na miejscu na potrzeby oczyszczalni ścieków, a częściowo sprężany i dostarczany 6-kilometrowym rurociągiem obłożonym folią aluminiową (technologia zero-dyfuzyjna) do Parku Wodnego w Tychach, gdzie w elektrociepłowni jest spalany w celu ogrzewania budynku i wody w basenach.
- Energia elektryczna – średniomiesięczna produkcja energii przekracza poziom 150% w stosunku do zużycia energii na potrzeby własne; nadmiar energii sprzedawany jest do sieci (ok. 4,5 tys. MWh/rok).
- Energia cieplna – pokrycie 100% zapotrzebowania OŚ. Energia wykorzystywana do ogrzewania WKF do stałej temperatury 38°C oraz budynków OŚ; ogrzewanie budynków i wody w basenach w Parku Wodnym.
- Dwutlenek węgla – wydzielany w procesie oczyszczania biogazu do biometanu i sprzedawany zakładom przemysłowym.

Dodatkowe informacje:

Uzdatnianie biogazu w Stacji Oczyszczania Biogazu z wykorzystaniem absorberów odsiarczających (zaprojektowanych przez RCGW, wykorzystujących rudę darniową) oraz ścieków oczyszczonych (technologia firmy T4B EKOTECHNOLOGIE – woda technologiczna jest absorberem CO₂, następnie biogaz jest odwilgacany w skruberze). Wydajność stacji: 1200 m³/h.

Regionalne Centrum Gospodarki Wodno-Ściekowej S.A.



Regionalne Centrum Gospodarki Wodno-Ściekowej S.A.

Komory fermentacyjne i zbiorniki biogazu na terenie
Oczyszczalni Ścieków Tychy-Urbanowice



Oczyszczalnia Ścieków „Hajdów” MPWIK w Lublinie



Lokalizacja: Lublin, woj. lubelskie, Polska

Rok powstania: 2000

Moc zainstalowana: 2x 0,85 MW

Strona: <https://www.mpwik.lublin.pl/>

Substrat:

Osad ściekowy ze ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych dostarczonych poprzez zarządzaną przez Spółkę sieć kanalizacji sanitarnej o długości ponad 960 km, obsługującą aglomerację Lublina (Lublin, Świdnik, Wólka, Konopnica, Głusk, Niemce).

Proces:

Fermentacja metanowa mezofilowa: uzyskany w procesie fermentacji biogaz jest odsiarczany za pomocą rudy darniowej i złoża biologicznego, a następnie odwadniany i usuwane są z niego siloksany (poprzez filtry węgla aktywnego). Biogaz jest spalany w dwóch kogeneratorach.

Oczyszczalnia Ścieków „Hajdów” MPWIK w Lublinie



Produkty:

- Biogaz (oczyszczony) – 85% wyprodukowanego biogazu jest kierowana do zespołów prądotwórczych, 5% do kotłów gazowych, a nadmiar (10%) jest spalany przy użyciu pochodni. Wydajność: 724 m³ biogazu/h, zawartość metanu: 61-68%.
- Energia elektryczna – roczna produkcja wynosi 11,6 tys. MWh, co pokrywa 62% zapotrzebowania oczyszczalni; kolejne 7% pokrywa fotowoltaika.
- Energia cieplna – 84% energii cieplnej produkowana jest przez zespoły prądotwórcze, pozostałą część dostarczają kotły, co w 100% pokrywa zapotrzebowanie Oczyszczalni, w tym do podgrzewania osadu w WKF.
- Osad przefermentowany – po odwodnieniu i zagęszczeniu przekazywany jest firmie zewnętrznej, a niewielkie jego ilości w postaci płynnej są unieszkodliwiane na pobliskich lagunach osadowych.

Oczyszczalnia Ścieków „Hajdów” MPWIK w Lublinie



Obiekty oczyszczalni ścieków i biogazowni na terenie Oczyszczalni Ścieków „Hajdów” w Lublinie



Źródło: <https://www.mpwik.lublin.pl/>

**Materiały wykorzystane w
prezentacji i propozycja materiałów
dodatkowych**

Wykorzystane materiały



- Ostojski A., Swinarski, M. (2018). Znaczenie potencjału energetycznego osadów ściekowych w aspekcie gospodarki o obiegu zamkniętym – przykład oczyszczalni w Gdańsku. Rocznik Ochrona Środowiska, vol 20, str. 1252-1268
- Kwaśny J., Banach M., Kowalski Z. (2012). Przegląd technologii produkcji biogazu różnego pochodzenia. Czasopismo Techniczne (2-Ch/2012 (17): 83-102.
- Kwaśny J., Balcerzak W., Rezka P. (2016). Biogaz i charakterystyka wybranych metod jego odsiarczania. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, 63(2): 129-141.
- Curkowski A., Mroczkowski P., Oniszk-Popławska A., Wiśniewski G. (2009) Biogaz rolniczy – produkcja i wykorzystanie. Mazowiecka Agencja Energetyczna, Warszawa.
- AL-PROJEKT (2023) Koncepcja. Przebudowa ciągu przetwarzania osadów na oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim z odzyskiem energii, surowców mineralnych oraz wody w ramach realizacji projektu gospodarki o obiegu zamkniętym. Tomaszów Mazowiecki.
- <https://go4biogas.ios.edu.pl/>
- <https://magazynbiomasa.pl/schemat-biogazowni-jak-dziala-instalacja/>
- <https://eneria.pl/blog/biogazownie-czyli-energia-z-natury/>
- <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.123-a180>
- <https://www.europeanbiogas.eu/exploring-digestates-contribution-to-healthy-soils-2/>
- <https://www.giwk.pl/infrastruktura/elementy-infrastruktury/elektrociepłownia-biogazowa/>
- <https://www.mpwik.lublin.pl/>

Propozycja materiałów dodatkowych



- Wiącek D., Tys. J. (2015) Biogaz – wytwarzanie i możliwości jego wykorzystania, Acta Agrophysica Monographiae, Instytut Agrofizyki PAN, Lublin; <http://www.acta-agrophysica.org/Biogaz-wytwarzanie-i-mozliwosci-jego-wykorzystania,147345,0,2.html>
- Kowalczyk-Juśko A. (2013) Biogazownie szansą dla rolnictwa i środowiska, Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Warszawa; https://ksow.pl/files/Bazy/Biblioteka/files/publikacja_Biogazownie.pdf
- Curkowski A., Oniszk-Popławska A., Mroczkowski P., Zowsik M., Wiśniewski G. (2011) Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych, Instytut Energetyki Odnawialnej (EC BREC IEO), Warszawa; https://www.imp.gda.pl/bioenergy/biznes/poradnik_biogazowy.pdf
- AEBIOM European Biomass Association (2010) A Biogas Road Map for Europe; [https://www.big-east.eu/downloads/Brochure_BiogasRoadmap_WEB\[1\].pdf](https://www.big-east.eu/downloads/Brochure_BiogasRoadmap_WEB[1].pdf)
- Institut für Energetik und Umwelt gGmbH. Biogaz. Produkcja. Wykorzystywanie; https://ieo.pl/dokumenty/obszary_badan/Biogaz%20-%20Produkcja%20Wykorzystywanie.pdf
- Krasucka E., Oniszk-Popławska A. (2013) Recykling organiczny i odzysk energii z segregowanych u źródła bioodpadów pochodzenia komunalnego. Przewodnik przedsiębiorcy. Technologie przetwarzania selektywnie zbieranych bioodpadów pochodzenia komunalnego – fermentacja metanowa. Projekt “Naukowcy dla gospodarki Mazowsza”; https://www.proakademia.eu/gfx/baza_wiedzy/358/technologiczne_recykling_i_odzysk.pdf

Prezentacja została wykonana w ramach projektu:
Zielona transformacja w praktyce: demonstracja i upowszechnianie korzyści płynących z produkcji biogazu z bioodpadów (ang. *Green transition in practice: Demonstrating and disseminating the benefits of producing biogas from bio-waste*).

Projekt realizowany przez Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy w partnerstwie z Vista Analyse.

Projekt finansowany z Funduszu Współpracy Dwustronnej Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego 2014-2021 i Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 (Fundusze Norweskie i EOG).

<https://go4biogas.ios.edu.pl/>