

Kurs 20-godzinny: Praca w biogazowni – aspekty technologiczne

- a. Podstawy fermentacji metanowej
- b. Biogaz z oczyszczalni ścieków i składowisk odpadów
- c. Biogaz rolniczy - definicje, substraty pochodzące z upraw, przetwórstwa rolno-spożywczego, odpady
- d. Budynki, budowle i urządzenia wchodzące w skład biogazowni rolniczej
- e. Zagospodarowanie biogazu - CHP, oczyszczanie do postaci biometanu i jego przeznaczenie
- f. Właściwości i zagospodarowanie pofermentu

a. Podstawy fermentacji metanowej

Fermentacja metanowa

Fermentacja metanowa jest złożonym procesem biochemicznym, kilkustopniowym, zachodzącym w warunkach beztlenowych. Wielocząsteczkowe substancje organiczne rozkładane są przez bakterie na związki proste, chemicznie ustabilizowane - głównie metan (CH_4) i dwutlenek węgla (CO_2).

W pierwszej fazie fermentacji metanowej bakterie tlenowe za pomocą enzymów rozkładają celulozę na rozpuszczalne cukry. Następnie inne bakterie wykorzystują te produkty do swego rozwoju sprawiając przy tym mniejszą ilość produktów końcowych w otaczającym ich środowisku. w wyniku tego procesu powstaje etanol i kwas mlekowy oraz lotne kwasy tłuszczowe takie jak: kwas octowy, propionowy, masłowy. Ponadto w wyniku pierwszej fazy fermentacji powstają wodorowęglany i wodór. w drugim etapie procesu fermentacji biorą udział produkty z pierwszej fazy fermentacji, dzięki którym powstają surowce do produkcji metanu na skutek dalszego rozkładu przez różnorodne bakterie beztlenowe należące do producentów wodoru lub gatunków redukujących siarczany i wytwarzających również wodorowęglan i wodór. w trzeciej fazie fermentacji rozkładem zajmują się bakterie metanowe rozkładając kwasy na metan i wodorowęglan. w wyniku przemian chemicznych, jakie zachodziły przez poszczególne fazy fermentacji, otrzymany biogaz zawiera również dwutlenek węgla.

Należy również zwrócić uwagę, iż nie wszystkie odpady przechodzą powyższe trzy fazy fermentacji. Wiele z nich już na etapie powstawania posiada dużą ilość rozłożonych cząstek, dzięki czemu proces fermentacji zachodzi w późniejszym stadium.

Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na przebieg fermentacji i zapewniające bakteriom odpowiednie pożywki są temperatura, użyte substraty, a także czynniki chemiczne wspomagające fermentację.

Fermentacja ma na celu przetworzenie osadu ściekowego lub gnojowicy w nie zagniwającą, łatwo odwadniającą się i bez drażniącego zapachu masę. Organiczną masę gnojowicy tworzą głównie tłuszcze, białka i węglowodany. w procesach beztlenowego rozkładu, część z nich w wyniku przemian biochemicznych mineralizuje się do prostych związków. Pozostałe części, np. trudno rozkładana celuloza i ligniny, nie zamieniają się i w swej pierwotnej postaci usuwane są z komory fermentacyjnej.

Czynniki wpływające na przebieg fermentacji

We wszystkich procesach biochemicznych, a więc i w przypadku fermentacji metanowej, warunki środowiskowe w znacznym stopniu wpływają na wydajność i produktywność procesu. Czynniki wpływające na przebieg fermentacji podzielić należy na dwie grupy: fizyczne i chemiczne. Do fizycznych zalicza się temperaturę, światło, zawartość wody i mieszanie; do chemicznych - pH, tlen, potencjał redox, stosunek węgla do azotu C/N i czynniki toksyczne.

Temperatura

Do najtrudniejszych zagadnień w fermentacji metanowej należy znalezienie najkrótszego czasu tego procesu i optymalnej temperatury, przy równoczesnej maksymalnej produkcji biogazu i rozkładaniu substancji organicznej. Fermentacja metanowa może przebiegać w przedziale temperatur od 4 do 70°C, a wraz ze wzrostem temperatury wzrasta efektywność mikroorganizmów. Ze względu na temperaturę fermentację metanową można podzielić na:

- fermentację psychrofilową w przedziale temperatur 10-27°C,
- fermentację mezofilową w temperaturze 27-42°C,
- fermentację termofilową w temperaturze 50-70°C.

W Polsce przedział temperatury w dotychczas wybudowanych biogazowniach wynosi od 20 do 35°C. Im niższa temperatura, tym mniejsze ilości biogazu otrzymuje się z gnojowicy. Bakterie wytwarzające biogaz są wrażliwe na raptowne zmiany temperatury wynoszące 2–6°C w masie fermentacyjnej, w wyniku czego następuje zmniejszenie wydajności procesu wytwarzania biogazu. w temperaturze 55°C proces przebiega znacznie szybciej, lecz ujemnym następstwem fermentacji termofilowej jest niezbyt dobre odwodnienie się osadu, zaś ciecz osadowa cuchnie i jest bardzo sprężona.

Światło

Warunki świetlne przy produkcji biogazu muszą być stałe, aby nie zahamować produkcji biogazu przez bakterie.

Zawartość wody w osadzie

Optymalne stężenie osadu powinno wynosić 20% (w przeliczeniu na suchą pozostałość), większe rozcieńczenie wodą przedłuża proces fermentacyjny i zmniejsza ilość powstającego biogazu.

Mieszanie

Wydajność procesu fermentacji można zwiększyć poprzez mieszanie wsadu fermentatora. Niedostateczne lub złe mieszanie zawartości komór fermentacyjnych nie zapewnia tych samych warunków technologicznych w całej objętości zbiornika. Występują wówczas miejsca przegrzania i niedogrzenia, miejsce przeciążone osadem źle szczepionym. Mieszanie zapobiega rozwarstwianiu się gnojowicy na frakcje: górną na samym wierzchu w postaci kożucha, górną płynną, środkową płynną i dolną zawierającą muł i osady.

Odczyn pH

O prawidłowym rozwoju mikroorganizmów wywołujących fermentację metanową decyduje również pH. Już małe zakwaszanie powoduje zaburzenie w rozmnażaniu bakterii. Bakterie fermentacji metanowej wymagają odczynu obojętnego, tj. pH około 7. Poniżej pH 6 i powyżej pH 8 fermentacja szybko zanika.

Tlen

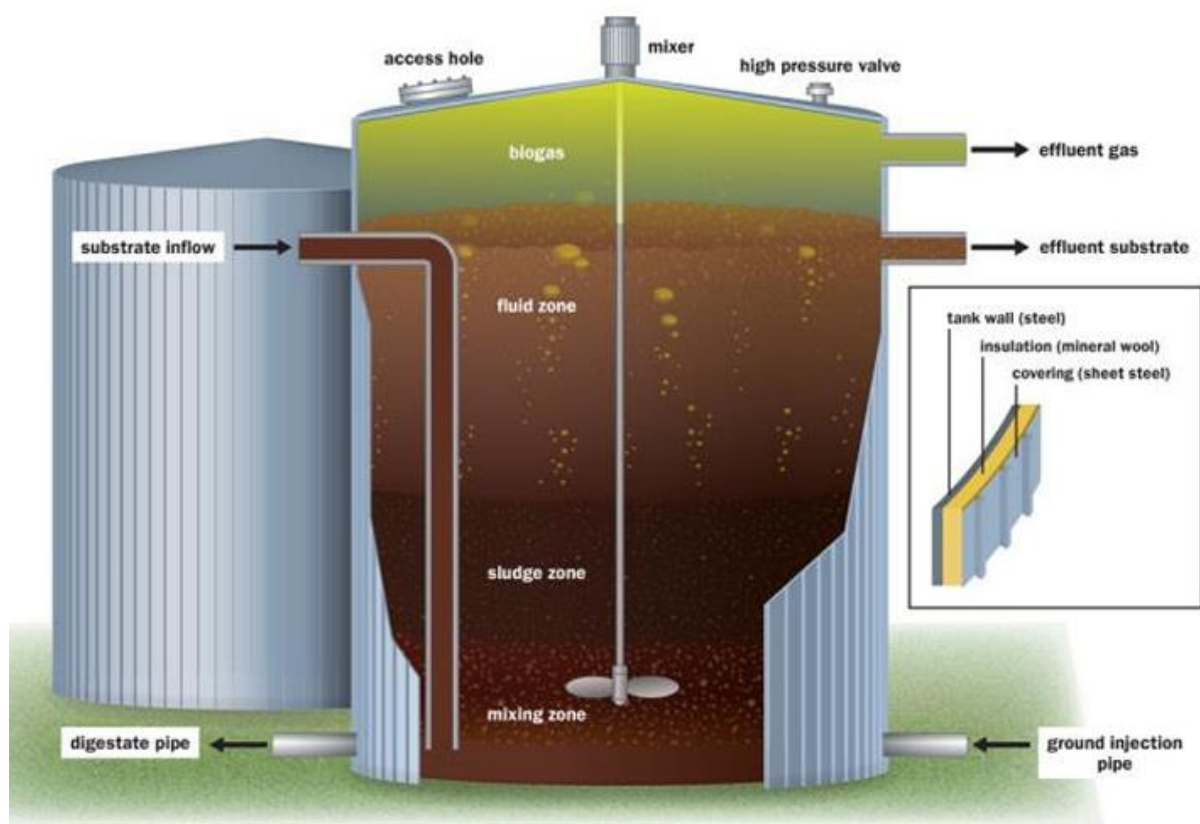
Najmniejsze ślady tlenu są przyczyną niepowodzeń w otrzymaniu czystych hodowli bakterii fermentacji metanowej, które są bezwzględnie beztlenowcami. Bakterie te w kontakcie z tlenem giną, rozwijają się natomiast bardzo dobrze w atmosferze wodorowej.

Stosunek węgla do azotu - C/N

Populacja bakterii uczestniczących w fermentacji metanowej wymaga dostatecznej ilości pożywki, aby rosnąć i rozmnażać się. z tego względu stosunek C/N nie powinien przekraczać 100/3. Wynika to z budowy komórek bakteryjnych oraz z faktu, że 15% węgla w substracie jest asymilowane przez bakterie. Jeśli jednak w substracie poddawany fermentacji znajdzie się zbyt dużo azotu (N), skumuluje się on w postaci amoniaku aż do stężenia, w którym staje się toksyczny dla bakterii metanowych.

b. Biogaz z oczyszczalni ścieków i składowisk odpadów

Rozwój infrastruktury komunalnej, w tym coraz większa liczba mieszkańców objętych systemem oczyszczania ścieków komunalnych, powoduje nieuchronnie wzrost ilości wytwarzanych komunalnych osadów ściekowych. Im większy stopień oczyszczania ścieków, tym większe ilości osadu. W zależności od technologii stosowanych w oczyszczalniach – Rys. 4.11, wytworzone osady ściekowe posiadają inny stopień uwodnienia, różnią się także zawartością substancji organicznych czy składników odżywczych [Jędrzak, 2010].



Rys. 4.11. Wytwarzanie biogazu z osadów ściekowych
[<https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.123-a180>]

Przykładem są podjęte próby energetycznego wykorzystania osadów ściekowych, których parametry zbliżone są do torfu [Kowalik, 2002]. Osadów ściekowych i przemysłowych odpadów organicznych powstaje w Polsce około 2,5 mln t s.m. rocznie [Kowalik, 1997b], z czego palnych i wyselekcjonowanych odpadów organicznych na składowiskach odpadów komunalnych około 0,4 mln t rocznie [Gutkowski, 2001].

Duże ilości odpadowej biomasy wykorzystywane są w przemyśle celulozowo-papierniczym, gdzie w Polsce powstaje rocznie ponad 1 mln t s.m. odpadów, głównie w postaci ścieków ligninowych w ługach warzelnych. Wytwarza się m.in. duże ilości energii elektrycznej za pomocą turbin parowych, na ogół o mocy 15 MW_e każda, zasilanych przez kotły stosujące spalanie drewna odpadowego, kory, odpadowej makulatury i ścieków ligninowych, m.in. w Świeciu, Kwidzynie, Ostrołęce. Oszczędza się rocznie około 0,1 mln t węgla, zastępując go przez odpadową biomasę [Tarnawski, 1994].

Przemysł papierniczy w Polsce dysponuje następującymi zasobami biomasy:

- kora i drewno odpadowe 455 tys. t/rok;
- osady z oczyszczalni 96 tys. t/rok;
- odrzuty i osady z recyklingu papieru 230 tys. t/rok;
- beużyteczna makulatura nadająca się do spalania 930 tys. t/rok;

łącznie ponad 30 PJ/rok [Kowalik, 2002].

Osady ściekowe w Polsce wytwarzane są w ilości 0,5 mln t s.m. Energetyczne wykorzystanie osadów ściekowych ma miejsce m.in. w oczyszczalni ścieków Gdynia-Dębogórze, gdzie zbudowano spalarnię osadów ściekowych o mocy 4 MW, przepustowości 10–20 t s.m. osadów na dobę i dostarczającą energię cieplną do suszarni osadów o mocy 2 MW [Kowalik, 2002].

Literatura:

Gutkowski J., Energia odnawialna – stan obecny na tle optymistycznych prognoz jej możliwego wykorzystania w Polsce. W: Odnawialne Źródła Energii u Progu XXI Wieku, IBMER, Warszawa, 2001, 58–66.

Jędrzak A., Analiza dotycząca ilości wytwarzanych oraz zagospodarowanych odpadów ulegających biodegradacji. Sfinansowano ze Środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na zamówienie Ministra Środowiska. Zielona Góra, kwiecień 2010, 1-86.

Kowalik P., Wykorzystanie biomasy jako surowca energetycznego. Fundacja na Rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii. Energetyczne wykorzystanie biomasy. Szkolenie na działających przykładach zastosowań energii odnawialnych w Polsce i w Danii. W ramach Programu TEMPUS Unii Europejskiej pt.: "Zrównoważony rozwój energetyczny", 16-28 czerwca 2002.

Kowalik P., Polskie doświadczenia dotyczące termicznej utylizacji i energetycznego wykorzystania osadów ściekowych. V Konferencja Nauk.-Techn. nt. Gospodarka Odpadami Komunalnymi. Koszalin-Kołobrzeg, 1997b,. 325–338.

Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych,
<https://www.kzgw.gov.pl/index.php/pl/materialy-informacyjne/programy/krajowy-program-oczyszczania-sciekow-komunalnych>, dostęp do strony 22 maj 2020 r.

Tarnawski W., Racjonalizacja użytkowania energii w przemyśle celulozowopapierniczym. Druga Konferencja Racjonalizacja Użytkowania Energii i Środowiska, 17–19 X 1994, Szczyrk. Wyd. NOT Warszawa, t. I, 1994, 147–168.

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

Przykłady biogazowni wykorzystującej osady ściekowe

Przykład elektrociepłowni biogazowej na terenie Oczyszczalni Ścieków Gdańsk Wschód – Rys. 4.12. Na terenie oczyszczalni w 2012 roku uruchomiona została Elektrociepłownia Biogazowa. Biogaz produkowany jest w czterech komorach mezofilowej fermentacji beztlenowej o pojemności 7 000 m³każda. 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



Rys. 4.12. Zamknięte komory fermentacyjne na terenie Oczyszczalni Ścieków Gdańsk Wschód [https://www.giwk.pl/infrastruktura/elementy_infrastruktury/elektrociepłownia-biogazowa].

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: Uzdatanianie 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 odwilgaczany w skruberze). Wydajność stacji: 1200 m³ /h.

Literatura:

https://www.giwk.pl/infrastruktura/elementy_infrastruktury/elektrocieplownia-biogazowa

Anna Bojanowicz-Bablok Izabela Potapowicz Produkcja biogazu z komunalnych osadów ściekowych Warszawa, 2024

Gaz wysypiskowy jest formą biogazu, wytwarzanego w sposób naturalny wewnątrz składowiska odpadów, zawierających związki organiczne podlegające rozkładowi beztlenowemu. Gaz wysypiskowy stanowi znaczną część emisji gazów cieplarnianych w Polsce. W krajowym bilansie metanu (CH₄) stanowi ok. 10%. Wpływ metanu z wysypiska ma duży wpływ na efekt cieplarniany i odgazowanie składowisk odpadów powinno mieć za zadanie jak największe ograniczenie emisji do atmosfery metanu i innych niebezpiecznych gazów, powstających na wysypisku odpadów. Inne problemy towarzyszące obecności metanu to: samozapłon; powstający przy rozkładzie odpadów metan jest przyczyną samoistnego powstawania pożarów, toksyczne składniki dymów są przyczyną zanieczyszczenia powietrza w tym powstawania dioksyn, eksplozje; notowano wybuchy na wysypiskach z powodu wysokich stężeń metanu. Metan tworzy mieszaninę wybuchową z powietrzem przy stężeniu 5-15% objętościowych, rozkładające się odpady powodują problemy zapachowe wokół wysypiska. Ekstrakcja gazu wysypiskowego, którego dominującym składnikiem jest metan, pozwala na rozwiązanie wielu z wymienionych problemów oraz na wykorzystanie metanu jako źródła energii. Skład odpadów zmienia się w ostatnich latach i staje się podobny do odpadów w Europie Zachodniej. Na większości wysypisk śmieci składowane odpady charakteryzują się dużą zawartością materiałów pochodzenia organicznego. Odpady z gospodarstw domowych zawierają między innymi resztki owoców i żywności, różnego rodzaju produkty pochodzenia organicznego jak papier, tektura, etc. Oprócz tego składa się inne materiały pochodzenia organicznego jak odpady przemysłowe i pochodzące z rozbiórek. Odpady z gospodarstw domowych stanowią typowo ok. 60% wszystkich odpadów. Po złożeniu odpadów na wysypisku rozpoczyna się rozkład mikrobiologiczny. Najpierw ma miejsce rozpad tlenowy, przy którym zużywany zostaje dostępny tlen. Po jego całkowitym

zużyciu rozpoczyna się rozpad beztlenowy i wytworzony zostaje gaz wysypiskowy. Okres czasu został podzielony w oparciu o przebieg rozpadu na pięć faz.

Faza I – tlenowa: W trakcie jej trwania niektóre, najbardziej podatne na biodegradację części odpadów ulegają przemianom dzięki tlenowi pierwotnie w nim zawartemu i przenikającemu z otoczenia. W ten sposób tlen zostaje zużyty i wydzielą się dwutlenek węgla oraz znacznie podnosi się temperatura. W porównaniu z pozostałymi fazami, czas trwania fazy I jest bardzo krótki.

Faza II i III – fazy przejściowe: Po zakończeniu etapu tlenowego następuje etap przejściowy, podczas którego rozwijają się warunki silnie beztlenowe. Rozpoczyna się i intensyfikuje wydzielanie metanu.

Faza IV – faza metanowa: Po kilku latach wydzielanie metanu stabilizuje się (pod warunkiem, że zachowane zostaną odpowiednie warunki otoczenia) i jego koncentracja utrzymuje się na relatywnie stałym poziomie pomiędzy 40÷65 % objętości.

Faza V – faza zaniku: Intensywność procesu wytwarzania metanu spada, w gazie wysypiskowym rośnie udział azotu. Powstaje możliwość tworzenia w górnych warstwach wysypiska stref tlenowych i wysypisko ustabilizuje się.

Poziom emisji gazu wysypiskowego zależy od gospodarki odpadami komunalnymi w mieście. Składowanie na wysypisku jest jedynie ostatnim etapem przepływu odpadów. Emisja gazu zależy od składu odpadów, obecności związków organicznych w śmieciach. Można wskazać na następujące metody ograniczenia emisji gazu: ograniczenie ilości odpadów. Jest oczywiste, że zmniejszenie ilości odpadów prowadzi bezpośrednio do obniżenia emisji gazu. Dokonać tego można na drodze zmian w zachowaniach konsumenckich oraz przez powtórne/wielokrotne użycie (re-use, recycling). segregacja odpadów i kompostowanie związków organicznych. Kompostowanie związków organicznych jest najlepszą metodą zmniejszenia emisji metanu, który nie powstaje w trakcie procesu. Przyjmując, że gdyby 80% substancji organicznej byłoby kompostowane, o tyle zmniejszyłaby się emisja gazu do atmosfery. segregacją odpadów i spalaniem. Spalanie odpadów powoduje nie tylko brak emisji gazu, ale wytworzona energia cieplna stwarza również możliwości zastąpienia w ten sposób spalanego paliwa kopalnego. Do spalania kierowane są inne odpady, nie tylko organiczne co pozwala zastąpić inne paliwa energią z gazu, a stąd uzyskiwana może być znaczna redukcja emisji CO₂, większa niż wynikająca tylko ze spalania gazu. Dla istniejących i nowych składowisk zastosować można: uszczelnienie i odgazowanie złoża. Uzyskany gaz może być zastosowany do produkcji ciepła i energii elektrycznej. Przyjmuje się, że maksymalna ilość gazu odzyskanego w ten sposób z wysypiska wynosi połowę

wydzielającego się gazu. Sposoby ujmowania gazów wysypiskowych dla wysypisk zrehabilitowanych o zakończonej eksploatacji oraz wysypisk czynnych: Wysypiska zrehabilitowane Na powierzchni wysypiska buduje się systemy ujęcia gazu wbudowane w korpus odpadów. Najczęściej są to ujęcia pionowe wykonane metodą wiertniczą, wewnątrz ujęcia znajdują się perforowane rury, wyprowadzająca dopływający gaz do powierzchniowej instalacji gazowej. Wysypiska eksploatowane Powinny posiadać zaprojektowany system aktywnego odgazowania wbudowany w korpus odpadów od dołu i rozwijany ku górze w miarę wypełniania wysypiska odpadami. Jest to najtańszy wariant odgazowania wysypisk czynnych – Rys. 4.13.



Rys. 4.13. Schemat pozyskania gazu z wysypiska [https://www.giwk.pl/files/4/167/160/3_rozdzial.pdf].

Zorganizowane odgazowanie wysypiska winno posiadać zorganizowany system zbiorczy ujmowanego gazu oraz system jego wykorzystania, najlepiej na cele energetyczne. Ilość gazu, jaka generuje się w korpusie odpadów komunalnych zależy głównie od ilości zdeponowanych odpadów, składu morfologicznego odpadów i wieku wysypiska. Ilość gazu możliwa do pozyskania zależy od konstrukcji podłoża wysypiska i stosowania technologii wspomagających sprawności systemu odgazowania.

Odpady komunalne z Gdańska oraz część odpadów przemysłowych i budowlanych składowane są na wysypisku w Szadółkach. Wysypisko jest eksploatowane od 1973 r. Na wysypisku zgromadzono kilka milionów m³ odpadów. Odpady dostarczane były na

wysypisko przez lata bez segregacji. W 1998 r. w Szadółkach wykonano odgazowanie powierzchni ok. 15 ha i uruchomiono elektrownię zasilaną gazem ze składowiska. Gaz ujmowany w systemie 40 studni jest podawany do dwóch gazowych zespołów prądotwórczych o mocy elektrycznej 200 kW każdy. Instalację zaprojektowano na wydobycie ok. 1,6 mln m³ gazu w ciągu roku. Produkcja energii elektrycznej wynosi około 3 000 MWh/rok. Wskaźnik wpływu gazu wysypiskowego na efekt cieplarniany jest znaczny, gdyż potencjał tworzenia efektu cieplarnianego metanu jest 23-krotnie większy od wpływu CO₂. Obniżenie emisji gazów cieplarnianych dzięki pracy elektrowni w Szadółkach w wyniku uniknięcia samoistnej emisji metanu ze składowiska oraz wykorzystania energetycznego biogazu wynosi około 40 tys. ton CO₂ eq/rok (równoważnika emisji CO₂).

Literatura:

https://www.giwk.pl/files/4/167/160/3_rozdzial.pdf

c. Biogaz rolniczy - definicje, substraty pochodzące z upraw, przetwórstwa rolno-spożywczego, odpady

Efekty rolnicze i ekologiczne z fermentacji metanowej gnojowicy

Zastosowanie fermentacji metanowej przynosi korzyści ekologiczny oraz rolnicze:

1. jednym z produktów fermentacji jest biogaz palny z przewagą metanu, w ilości $1,0 \text{ m}^3$ (średnio) z 1 m^3 komory o wartości opałowej ok. 23 MJ/m^3 ,
2. pozostałym produktem beztlenowego procesu jest przefermentowana gnojowica (poferment), mająca lepsze właściwości nawozowe i sorpcyjne niż surowa, gdyż:
 - w czasie fermentacji nie obserwuje się strat cennego azotu, jedynie redukcję azotu amonowego, bardziej przyswajalnego dla roślin,
 - pH wzrasta z 7 do 8,
 - zmniejsza się o 30-50% zawartość substancji organicznych; powoduje to zmniejszanie stosunku węgla do azotu C/N, co przy dodatku odpadów organicznych, np. resztek popastwiskowych lub poźniwnych, jest bardzo korzystne,
 - fosfor i potas występują również w postaci łatwiej przyswajalnej (zmineralizowanej) dla roślin,
 - zmniejsza się ilość nasion chwastów,
 - obserwuje się mniej poparzeń roślin przy nawożeniu gnojowicą przefermentowaną w porównaniu z surową,
 - przefermentowana gnojowica wydziela mniej odorów i ma korzystniejszą konsystencję, łatwiej się odwadnia,
3. gnojowica przefermentowana zmniejsza zagrożenia sanitarne przylegających pól i okolic mieszkalnych, gdyż:
 - redukuje się do minimum ilość bakterii chorobotwórczych,
 - unika się przeciążenia gleby, wód i roślinności ciałami szkodliwymi, które w procesie fermentacji ulegają rozkładowi na związki proste, wykorzystane w kompleksie sorpcyjnym gleby,
 - unika się bezpośredniego kontaktu ludzi i zwierząt z produktami zawierającymi mikroorganizmy chorobotwórcze,
 - obserwuje się zmniejszenie objętości fermentowanego substratu, ułatwiające jej zagospodarowanie,
 - redukuje się podstawowe zanieczyszczenia, takie jak: BZT₅ o 60-80% i ChZT o 50-60%.

Podstawowe dane wyjściowe do projektowania biogazowni od 25 do 1000 m³

W porównaniu z obornikiem, gnojowica ma bardzo zróżnicowany skład, tym samym jest trudniejsza do zastosowania w praktyce rolniczej. Ponadto ma ona duże biologiczne zapotrzebowanie na tlen. Zanieczyszczenie powietrza przez fermy ma uciążliwy lokalny charakter i przejawia się obecnością w powietrzu metanu, tlenku węgla, amoniaku i siarkowodoru, które przy większym stężeniu mają właściwości trujące.

Bezściółkowy chów zwierząt, nawet przy mniejszej ich koncentracji, może przyczynić się do nadmiernego nawożenia gnojowicą surową, co prowadzi zazwyczaj do znacznej i długotrwałej, a niekiedy wprost nieodwracalnej degradacji środowiska przyrodniczego. Duże dawki gnojowicy niedostatecznie przefermentowanej i oczyszczonej wpływają ujemnie na właściwości biologiczne gleby.

Jak wskazują liczne badania, gnojowica przefermentowana ma lepsze właściwości nawozowe niż surowa, a przede wszystkim jest bezpieczniejsza dla środowiska naturalnego.

Biogazownie dla gospodarstw do ok. 500 sd

Instalacje biogazowe stwarzają możliwości intensyfikacji produkcji rolniczej przy spełnieniu wymagań ochrony środowiska.

Podstawowymi elementami (zespołami) biogazowymi są: komora fermentacyjna, zbiornik biogazu, instalacja zasilająca komorę fermentacyjną, instalacja grzewcza oraz instalacja gazowa łącznie z odsiarczalnikiem.

W Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym opracowano – na podstawie wieloletnich badań własnych i zagranicznych – biogazownie o następujących podstawowych wielkościach:

- biogazownia z komorą fermentacyjną 15 m³,
- biogazownie z komorą fermentacyjną stalową o pojemności 25 m³ i 2x25 m³, przeznaczone dla gospodarstw o obsadzie 20-50 DJP, odpowiednio do wielkości komory,
- biogazownia z komorą fermentacyjną żelbetową o pojemności 50 m³, przeznaczona dla gospodarstw o obsadzie 40-60 DJP,
- biogazownie z komorą fermentacyjną żelbetową o pojemności 100 m³ i jej wielokrotnością (2x100 m³, 3x100 m³, 4x100 m³ i 5x100 m³), przeznaczone dla gospodarstw o obsadzie odpowiednio 80-500 DJP.

Ekologiczne zagrożenie gnojowicą środowiska naturalnego

W porównaniu z obornikiem, gnojowica ma bardzo zróżnicowany skład, tym samym jest trudniejsza do zastosowania w praktyce rolniczej. Ponadto jej dodatkową niekorzystną cechą jest duże biologiczne zapotrzebowanie na tlen (BZT_5) wynoszące: dla gnojowicy bydlęcej 10 000-20 000 mg/l, dla gnojowicy świńskiej 20 000-30 000 mg/l i dla pomiotu kurzego 30 000-40 000 mg/l. Stwierdzono, że przy nadmiernym nawożeniu gnojowicą następuje zazwyczaj trwała i długotrwała, a nawet nieodwracalna zmiana środowiska przyrodniczego, przejawiająca się niszczeniem drzewostanu i naturalnych zbiorowisk szaty roślinnej, przy jednoczesnym pojawianiu się flory synantropijnej, stanowiącej niekiedy uciążliwe zachwaszczenie gruntów ornych i użytków zielonych. Gleba nawożona wysokimi dawkami gnojowicy może prowadzić do trwałej anaerobiozy, a w konsekwencji do zahamowania życia biologicznego i utraty zdolności samooczyszczania gleby. w tych warunkach następuje wzrost koncentracji CO_2 w powietrzu glebowym, w którym zachodzi proces beztlenowego rozkładu z wydzielaniem H_2S , CH_4 , etylenu i innych związków trujących dla roślin.

Wprowadzenie gnojowicy do gleb zwięzłych jest przyczyną zatykania porów gleb i całkowitego zahamowania wymiany gazów na pewien okres. Poza tym, utrzymanie gleby nawadnianej odchodami zwierzęcymi przez dłuższy okres w stanie nadmiernego uwilgotnienia prowadzi do wytworzenia się warunków beztlenowych, w których zachodzi gromadzenie się azotynów trujących dla roślin. Pogorszenie właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleb, przejawiające się obniżeniem ich produktywności, nazywa się ogólnie zmęczeniem gleb.

Niewłaściwie składowana i oczyszczona gnojowica jest przyczyną silnego zanieczyszczenia wód powierzchniowych i gruntowych. Szczególnie w zanieczyszczeniu wód dużą rolę odgrywa azot i fosfor, zawarte w gnojowicy. Zwłaszcza niebezpieczne azotyny, odznaczające się silną toksycznością, zwłaszcza dla młodych organizmów.

Zanieczyszczenie powietrza płynnymi nawozami naturalnymi jest też uciążliwe dla środowiska ze względu na bardzo przykre i odrażające zapachy. Większość ferm nawet te najbardziej prymitywne, przyczyniają się do powstawania trujących związków. Do zanieczyszczenia powietrza przyczyniają się gospodarstwa o obsadzie powyżej 180 DJP (Dużych Jednostek Przeliczeniowych o masie 500 kg). Zapach tych pomieszczeń wyczuwalny jest przeciętnie z odległości 800 m. U ludzi mieszkających w pobliżu wadliwie zaprojektowanych zbiorników na gnojowicę zaobserwowano bóle głowy, napięcie mięśni, bóle kończyn, podrażnienie błon śluzowych i dróg oddechowych.

Degradacji środowiska przyrodniczego sprzyjają również różne mikroorganizmy występujące w gnojowicy, niekiedy chorobotwórcze dla ludzi i zwierząt.

Wpływ gnojowicy na degradację środowiska naturalnego może być zminimalizowany, o ile przestrzegane będą podstawowe prawa ekologiczne, na których powinny być oparte wszystkie metody utylizacji gnojowicy, uzdatniające ją do bezpiecznego rolniczego wykorzystania. Jedną z metod jest obecnie poddawanie fermentacji metanowej gnojowicy w biogazowniach rolniczych.

Efekty ekologiczne fermentacji metanowej gnojowicy

Gnojowica bydlęca i od trzody chlewnej zawiera ładunek związków organicznych, z których część rozpuszczona jest w fazie wodnej, a pozostałość stanowi fazę stałą. Mimo względnie niedużej objętości, powstała w hodowli gnojowica jest traktowana jako ściek groźny dla środowiska naturalnego. Stanowi ona zagrożenie zwłaszcza dla wód powierzchniowych i podziemnych, będących źródłem wody do picia i do celów gospodarczych. Stopień zanieczyszczenia związkami organicznymi fazy wodnej wyraża wskaźnik ChZT (chemiczne zapotrzebowanie na tlen w mg O₂/l), oraz dopuszczalnych wartości w ściekach oczyszczonych (150 mg O₂/l, jakie można odprowadzać do środowiska. Zanieczyszczenia organiczne w gnojowicy ulegają względnie łatwo biodegradacji tlenowej w środowisku naturalnym do dwutlenku węgla i wody, co prowadzi do samooczyszczania wód. Związki azotowe ulegają utlenieniu w toku przemian kolejno do mocznika, amoniaku, azotynów i azotanów. Końcowym produktem degradacji białek są zatem azotany oraz fosforany. Procesy samooczyszczania powodują zużycie tlenu w wodach powierzchniowych. Niewielki nawet zrzut gnojowicy do rzeki lub jeziora może spowodować deficyt tlenu i zanik życia biologicznego, szczególnie w miesiącach letnich. Zatrucie wód podziemnych amoniakiem i azotanem pozbawia ludzi wody do picia, gdyż związki te są szkodliwe dla zdrowia i nie dadzą się w prosty sposób usunąć.

Celem podjętych badań w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym była ocena efektywności redukcji zanieczyszczeń w wyniku procesów biologicznych w warunkach beztlenowych

Przykładowe badania gnojowicy bydlęcej

Materiał do badań stanowiły próbki gnojowicy bydlęcej pobieranej z różnych stanowisk oraz jedna próbka gnojowicy świńskiej z chlewni bezściółkowych. Pobrano jedną próbkę gnojowicy bydlęcej przed i po fermentacji metanowej w komorze biogazowni

rolniczej, pracującej w warunkach dynamicznych w temperaturze 35°C. Badaniom poddano też gnojowicę po 5-dniowej fermentacji w temperaturze 37°C w laboratorium, w warunkach statycznych.

Zbadano zmiany zachodzące po tlenowej degradacji gnojowicy bydlęcej przy wspomaganiu szczepem bakterii EKOL-F. w pobranych próbkach oznaczono procentową zawartość suchej masy, w homogenatach gnojowicy ChZT-Cr (według PN-74/C-04578), a w nadsączu, uzyskanym po odwirowaniu części stałych, BZT₅ w temperaturze 25°C (według PN-84/C-04578.05) i ChZT-Cr. w jednej z próbek oznaczono dodatkowo utlenialność metodą nadmanganianowa (ChZT-KMnO₄) w nadsączu i BZT₅ w homogenacie. Każdy pomiar wykonano w trzech powtórzeniach.

Błąd oznaczenia ChZT-Cr, zwany dalej ChZT, wynosił w homogenacie 5,4%, a w nadsączu 2,2%. Błąd oznaczeń BZT₅ wewnątrzseryjny wynosi 9,8% a międzyseryjny 12,9%. Wyniki oznaczeń BZT₅ obciążone są większym błędem z powodu dużego zróżnicowania biologicznej aktywności mikroorganizmów.

Wyniki

Średnie oraz indywidualne wartości oznaczonych parametrów zamieszczono w tabelach 2.1 i 2.2.

Tabela 2.1. Średnia zawartość suchej masy, ChZT w homogenacie oraz ChZT i BZT₅ w nadsączu (gnojowica bydlęca z różnych stanowisk przed fermentacją i jedna próbka gnojowicy świńskiej)

Rodzaj gnojowicy	Sucha masa [%]	Homogenat ChZT [g O ₂ /l]	Nadsącz	
			ChZT [g O ₂ /l]	BZT ₅ [g O ₂ /l]
Bydlęca	7,5-3,4	59,1-22,1	8,7-3,9	6,1-2,9
Świńska	9,5	69,7	12,5	7,7

Źródło: badania własne.

Gnojowica jest materiałem niejednorodnym, dwufazowym, łatwo ulegającym rozwarstwieniu na fazę stałą (osad denny i lekki powierzchniowy „kożuch”) oraz koloidalną ciecz. w fazie ciekłej (nadsącz po odwirowaniu) związki organiczne stanowią ok. 15% całkowitej masy organicznej ulegającej utlenianiu w czasie oznaczania ChZT-CR. Wartość tego parametru

w gnojowicy bydlęcej wynosi średnio ok. 8,7 g O₂/l. Faza ta łatwo infiltruje gleby (szczególnie lekkie) i w postaci nie zmienionej może zanieczyścić wody gruntowe.

W badanych próbkach gnojowicy z różnych stanowisk stwierdzono znaczną indywidualną zmienność mierzonych parametrów. Wartość suchej masy wynosiła 4,4-13,2%, a ChZT homogenatu 30,5-92,3 g O₂/l. Gnojowica o najwyższej zawartości suchej masy i materii organicznej, wyrażonej jako ChZT homogenatu, miała konsystencję półpłynną i fizycznymi parametrami nie przypominała cieczy.

Tabela 2.2. Zmiany parametrów gnojowicy bydlęcej po degradacji metanowej i tlenowej (ChZT, BZT₅ i utlenione w g O₂/l)

Warunki	Faza gnojowicy	Parametr	Gnojowica		Redukcja masy organicznej [%]
			surowa	po degradacji	
Komora fermentacyjna biogazowni rolniczej (35°C)	homogenat	Sucha masa	7,5	5,1	32
		ChZT [g O ₂ /l]	63,2	50,5	20
		BZT ₅ [g O ₂ /l]	18,5	12,1	34
	nadsącz	ChZT [g O ₂ /l]	11,3	5,8	49
		Utlen.	6,2	3,8	39
		BZT ₅ [g O ₂ /l]	7,5	5,1	32
Fermentacja w warunkach laboratoryjnych (5 dni, 37°C)	homogenat	Sucha masa	6,6	5,3	20
		ChZT [g O ₂ /l]	58,5	39,3	33
	nadsącz	ChZT [g O ₂ /l]	8,8	5,1	42
		BZT ₅ [g O ₂ /l]	6,2	5,3	47
		Objętość metanu z 1 l gnoj.	-	6,4	
Degradacja tlenowa	homogenat	Sucha masa	7,2	2,4	67
		ChZT [g O ₂ /l]	54,5	1,6	97
	nadsącz	ChZT [g O ₂ /l]	7,9	1,3	84
		BZT ₅ [g O ₂ /l]	6,1	0,9	85

Źródło: badania własne.

Fermentacja metanowa gnojowicy i ścieków komunalno-bytowych znana jest jako jeden ze sposobów redukcji zanieczyszczeń organicznych i jednocześnie możliwości uzyskania gazowej mieszaniny metanu i dwutlenku węgla – paliwa o znacznej kaloryczności.

Pojedyncze wyniki uzyskane w czasie fermentacji wskazują na wyraźną redukcję masy organicznej gnojowicy o 20% w biogazowni i o 33% w warunkach laboratoryjnych.

Dane liczbowe zamieszczone w tabeli 2.2. sugerują, że w czasie fermentacji związki organiczne z fazy stałej ulegają upłynnieniu, jednakże proces ten nie nadąża za fermentacją. w wyniku tego w obu wypadkach obserwuje się prawie 2-krotne obniżenie wartości ChZT w nadsączu. Wartość BZT₅ w homogenacie jest parokrotnie wyższa niż w odpowiadającym mu nadsączu. Wynika stąd przypuszczenie, że faza stała gnojowicy w warunkach tlenowych ulega częściowej degradacji.

Oba spostrzeżenia potwierdzają inne doniesienie o podatności nierozpuszczalnych w wodzie składników (błonnik, celuloza) na rozkład biologiczny w warunkach aerobowych i anaerobowych, chociaż składniki rozpuszczalne w wodzie są bardziej dostępne dla mikroorganizmów powodujących rozkład.

Na podstawie powyższych badań laboratoryjnych można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Fermentacja metanowa umożliwia znaczną redukcję zanieczyszczeń organicznych i powinna być traktowana jako i etap oczyszczania.
2. Stopień redukcji zanieczyszczeń zależy w dużej mierze od czasu trwania akcji i warunków fizycznych procesu.
3. Alternatywą beztlenowych procesów może być degradacja aerobowa. Oba procesy mogą się wzajemnie uzupełniać.

d. Budynki, budowle i urządzenia wchodzące w skład biogazowni rolniczej

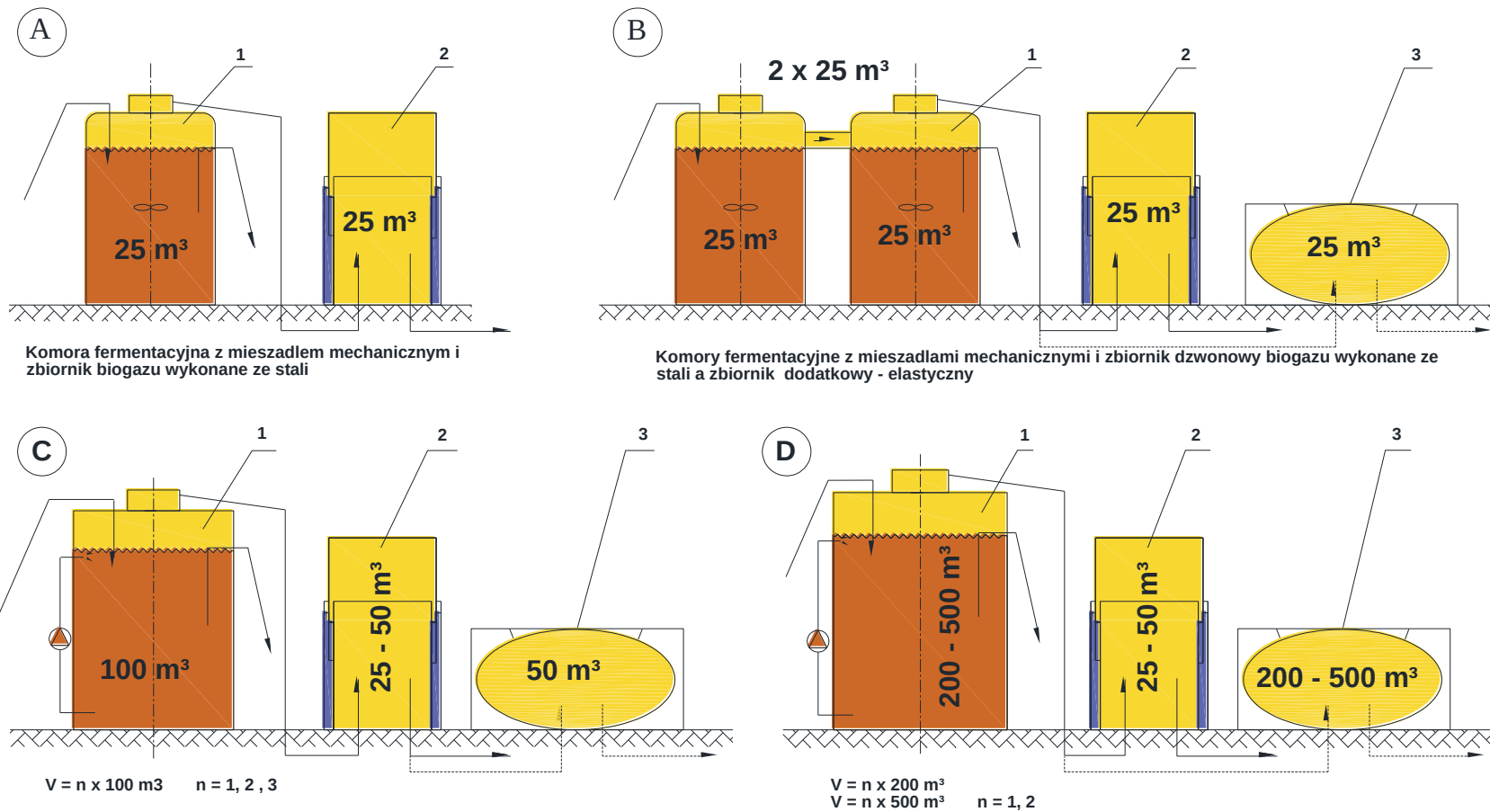
Dobór elementów biogazowni

Podstawowymi zespołami instalacji biogazowej, które decydują o efektywności produkcji energii są:

- komora fermentacyjna (bioreaktor),
- zbiornik wstępny do magazynowania substratu,
- silos na kiszonkę (np. z kukurydzy),
- agregat kogeneracyjny,
- zbiornik gazu,
- zbiornik na masę pofermentacyjną.

Zbiornik na masę pofermentacyjną powinien mieć kształt cylindryczny i wysokość równą wysokości komory fermentacyjnej. Okres przechowywania masy pofermentacyjnej w zbiorniku powinien wynosić 6 miesięcy i uwzględniać okres, w jakim ziemia jest zamrznięta (miesiące zimowe), kiedy nawóz nie może wnikać do gleby istnieje ryzyko jego spływu i może dojść do zanieczyszczenia wód powierzchniowych.

Koncepcje tworzenia małych i średnich biogazowni pokazano na rysunku 2.1. Komory fermentacyjne o pojemności 25 m³ mogą być stosowane na potrzeby doświadczalne i bytowe dla małych gospodarstw. Na rysunku 2.2 przedstawiono koncepcję budowy instalacji biogazowych rolniczych o wielkości od 100-1000 m³. Przedstawiona zasada bazuje na modułach podstawowych komory fermentacyjnej, jak również modułach zbiornika biogazu.



Komora żelbetowa z elementów prefabrykowanych drobnowymiarowych z mieszadłami hydraulicznymi i zbiornik dzwonowy biogazu wykonane ze stali a zbiornik dodatkowy - elastyczny

A i B - wielkości podstawowe 25 m³.
 C - wielkość podstawowa 100 m³.
 D - wielkość podstawowa 200 lub 500 m³

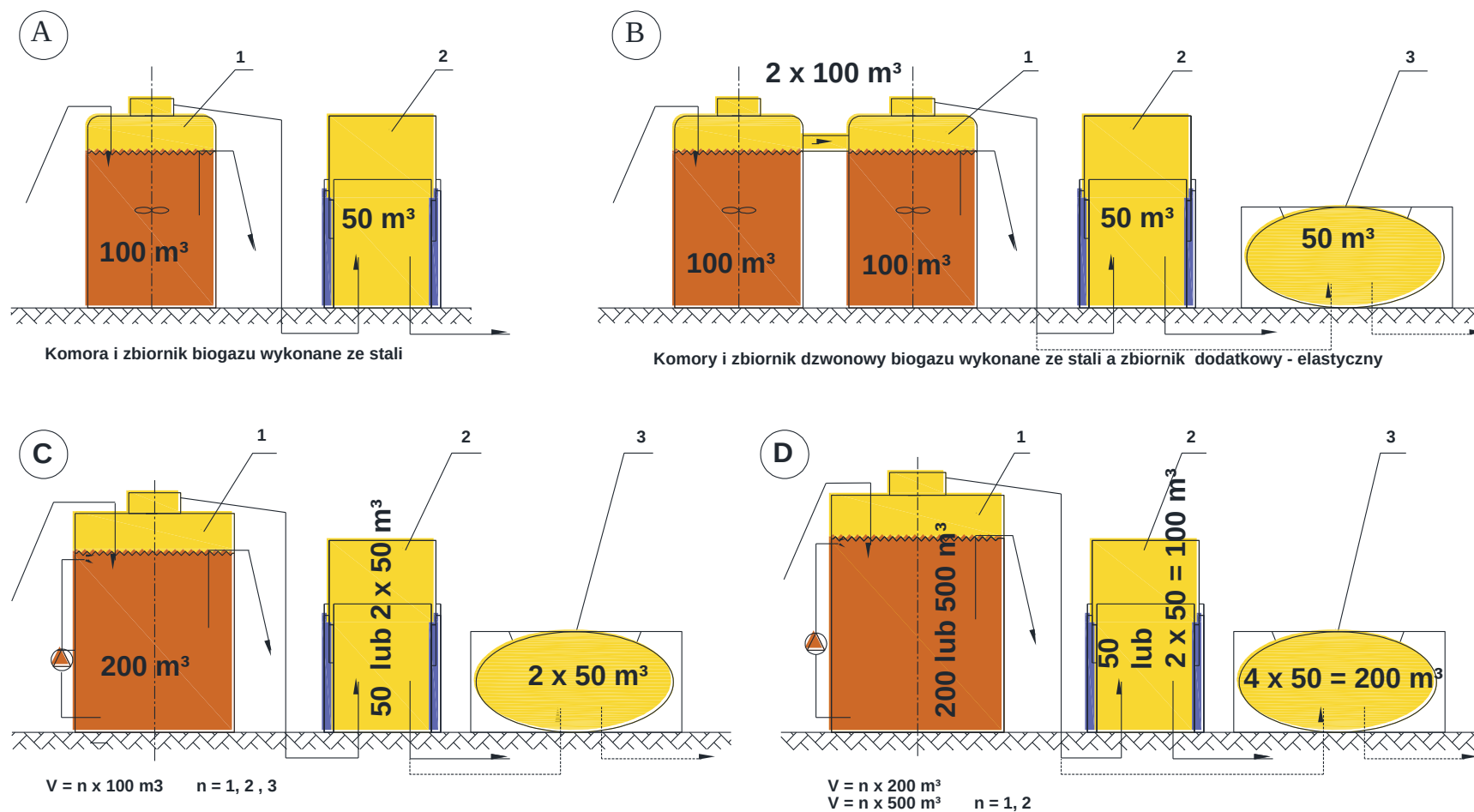
■ - masa fermentująca
 ■ - biogaz
 ■ - płyn uszczelniający

1- komora fermentacyjna
 2- zbiornik dzwonowy biogazu
 3- zbiornik elastyczny biogazu

Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2.1. Schematy ideowe instalacji biogazowych od 25 m³ do 100 m³

1 - komora fermentacyjna, 2 - zbiornik dzwonowy biogazu, 3 - zbiornik elastyczny biogazu



Komora żelbetowa z elementów prefabrykowanych drobnowymiarowych i zbiornik dzwonowy biogazu wykonane ze stali a zbiornik dodatkowy - elastyczny

A i B-wielkości podstawowe 100 m³.

C - wielkość podstawowa 200 m³,

D - wielkość podstawowa 500 lub 1000 m³

■ - masa fermentująca

■ - biogaz

■ - płyn uszczelniający

1- komora fermentacyjna

2- zbiornik dzwonowy biogazu

3- zbiornik elastyczny biogazu

Źródło: opracowanie własne.

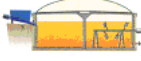
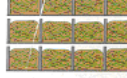
Rys. 2.2. Schematy ideowe instalacji biogazowych od 100 m³ do 1000 m³

1 - komora fermentacyjna, 2 - zbiornik dzwonowy biogazu, 3 - zbiornik elastyczny biogazu

W przypadku stosowania materiałów wymagających higienizacji niezbędne jest uwzględnienie w planach biogazowni etapu higienizacyjnego. Po przejściu etapu obróbki wstępnej substrat przedostaje się do fermentatora, gdzie jest poddawany fermentacji.

W fermentacji ciągłej (mokrej) najczęstsze zastosowanie znajdują instalacje jednoetapowe, które pracują według metody przepływowej. W procesach dwuetapowych do fermentatora właściwego jest podłączona komora fermentacyjna wstępną, która otwiera proces. W tej komorze zostają optymalnie ustawione warunki dla pierwszych dwóch etapów procesu rozkładu (hydrolizy i tworzenia kwasów). Z komory wstępnej substrat przedostaje się do komory głównej. Osady pofermentacyjne są składowane w zamkniętych fermentatorach do dofermentowania z wykorzystaniem biogazu lub w otwartych zbiornikach na osady pofermentacyjne i z reguły, jako nawóz płynny, zostają wywiezione na grunty rolne.

Dobór wielkości komory fermentacyjnej oraz wielkości i rodzaju substratu niezbędnego do określonej projektowanej mocy agregatu według firmy AgriKomp – Francja, przedstawiono na rysunku 2.3.

Typ instalacji	Moc agregatu	Komora fermentacyjna	Gnojowica/obornik	Powierzchnia upraw	Powierzchnia silosu
G	 40 kW	 400 m ³	 17 m ³ na dzień	0 ha	0 m ³
S	 75 kW	 800 m ³	 1800 m ³ gnojowicy 1150 t obornika	 20 ha	 1 100 m ³
M	 110 kW	 900 m ³	 1800 m ³ gnojowicy 1150 t obornika	 30 ha	 1 700 m ³
L	 150 kW	 1 100 m ³	 1800 m ³ gnojowicy 1150 t obornika	 50 ha	 2 700 m ³
XL	 180 kW	 1 200 m ³	 1800 m ³ gnojowicy 1150 t obornika	 60 ha	 3 300 m ³
XXL	 250 kW	 1 700 m ³	 1800 m ³ gnojowicy 1150 t obornika	 90 ha	 5 000 m ³

Źródło: AgriKomp [2011].

Rys. 2.3. Charakterystyka danych wejściowych w zależności od potrzeb mocy agregatu wg firmy AgriKomp

Tabela 2.3. Obliczeniowa obsada zwierząt (DJP) i powierzchnia gruntów ornych (ha) w odniesieniu do typów instalacji z rys. 2.3

	Obsada (DJP)	Powierzchnia gruntów ornych (ha)	Powierzchnia upraw energetycznych (ha)
G	340	340-510	0
S	200	220-330	20
M	200	230-330	30
L	200	250-350	50

XL	200	260-360	60
XXL	200	290-390	90

Źródło: opracowanie własne.

Poszczególnym wartościom instalacji biogazowych, począwszy od instalacji „G” o mocy agregatu kogeneracyjnego 40 kW do mocy 250 kW - „XXL”, przypisane są wielkości: komór fermentacyjnych, ilości niezbędnej gnojowicy, powierzchnie upraw, pojemność silosu do magazynowania kiszonki. Podane parametry poszczególnych węzłów (modułów) technologicznych są określone orientacyjnie, pozwalają jednak na wykonanie założeń do konkretnych projektów.

Zalety budowy biogazowni rolniczych

Zalety budowy biogazowni rolniczych to [DACH 2010]:

1. niezależność energetyczna – prąd można wykorzystywać na potrzeby własnego gospodarstwa lub sprzedawać do sieci energetycznej;
2. redukcja niekontrolowanej emisji metanu (CH_4) – dotyczy odpadów które w innym wypadku emitowałyby metan do atmosfery na skutek składowania;
3. redukcja emisji dwutlenku węgla (CO_2) – biogaz jest neutralny pod względem emisji dwutlenku węgla, ponieważ spalanie biogazu uwalnia tylko tyle dwutlenku węgla, ile go wcześniej pobrały rośliny. Produkcja energii z biogazu nie prowadzi, zatem do dodatkowej emisji dwutlenku węgla do atmosfery;
4. wykorzystanie lokalnych zasobów energetycznych z biomasy np. roślin z traw niewykasanych rolniczo;
5. ograniczenie szkód w środowisku – produkcja energii w biogazowniach redukuje eksploatację i spalanie kopalnych (węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa) nieodnawialnych nośników energii;
6. zagospodarowanie odpadów – biogazownia w zyskowny sposób utylizuje uciążliwe odpady;
7. uzyskanie nawozu – produktem powstałym w wyniku fermentacji jest ciecz pofermentacyjna – pełnowartościowy, bezpieczny i praktycznie bezwonny nawóz naturalny;

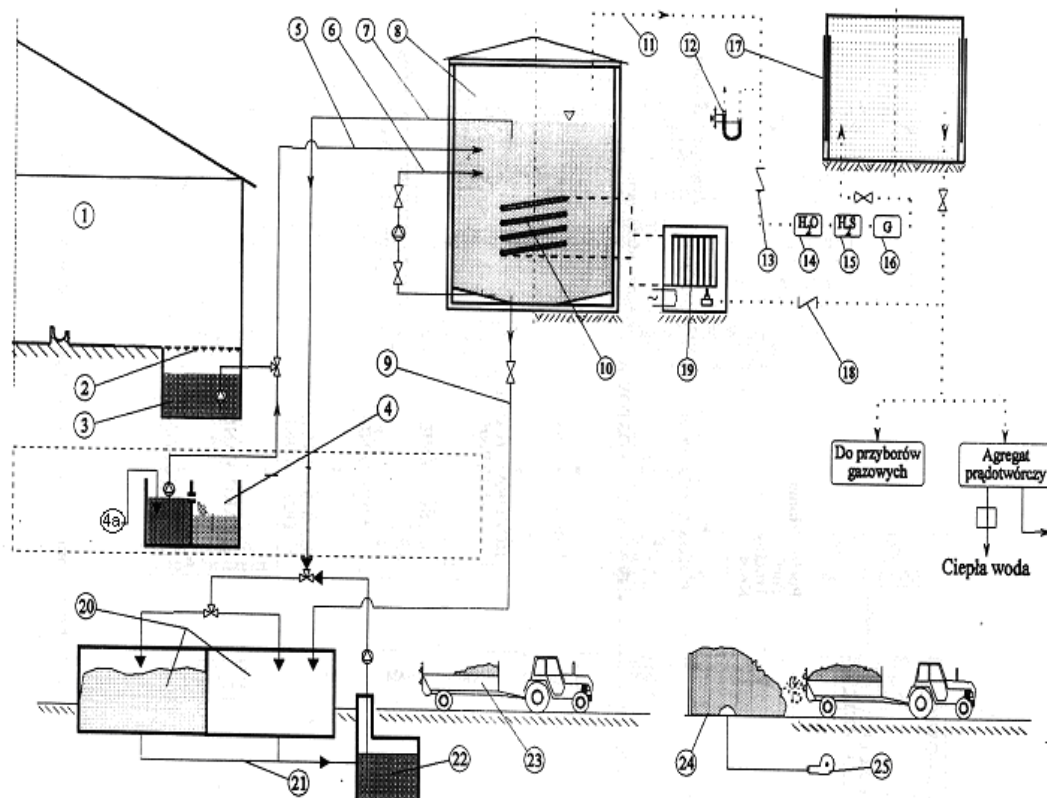
8. wspieranie rozwoju społeczno – gospodarczego – budowa biogazowni rolniczych to również możliwość dodatkowego zatrudnienia 1-2 osób na 20-50 kW mocy elektrycznej instalacji biogazowej;
9. zmniejszenie kosztów utylizacji odpadów organicznych– bez negatywnego działania na środowisko i mieszkańców;
10. rozwój infrastruktury w rejonie inwestycji poprzez wykorzystanie ciepła do ogrzewania domów – stwarza to możliwość zaopatrzenia lokalnego budownictwa mieszkalnego w ciepło;
11. wzrost atrakcyjności turystycznej – miejscowość, w której zlokalizowana jest biogazownia jest postrzegana jako atrakcyjna dla potencjalnych inwestorów oraz otwarta na nowe technologie. Stwarza to pozytywny wizerunek miejscowości. Dzięki temu można połączyć produkcję energii z biogazu z nauką i edukacją, a w przyszłości z turystyką;
12. możliwość lepszego planowania rozwoju gospodarstwa przez podmioty rolnicze dostarczające substraty;
13. możliwości dywersyfikacji podstawowych dostaw energii elektrycznej i gazu;
14. stworzenie możliwości wprowadzenia lokalnych innowacyjnych technologii produkcji bionawozu umożliwiającej sprzedaż na potrzeby rynku.

Biogazownia w praktyce

Przykładowa biogazownia z komorą fermentacyjną o pojemności 100 m³.

Schemat koncepcyjny technologii przedstawiono na rysunku 2.7. Gnojowica z budynku inwentarskiego spływa grawitacyjnie kanałem do zbiornika wstępnego. w zbiorniku tym gnojowica jest mieszana za pomocą pompy wirowej, a następnie transportowana przewodem do komory fermentacyjnej.

Komora fermentacyjna zasilana jest raz dziennie dobową produkcją gnojowicy. Wyposażenie komory w rurociąg przelewowy zapewnia odprowadzenie do zbiornika magazynującego komory kompostowej takiej samej ilości gnojowicy przefermentowanej, jaką została zasilona komora fermentacyjna. Przewiduje się trzykrotne mieszanie zawartości komory fermentacyjnej w ciągu doby, układem mieszania typu hydraulicznego. Każdorazowo czas mieszania będzie wynosić ok. 10 minut.



Źródło: ROMANIUK I IN. [2012].

Rys. 2.7. Technologia produkcji biogazu i bionawozu z komorą fermentacyjną 100 m³
 1 – budynek inwentarski, 2 – ruszt, 3 – kanał gnojowicowy (zbiornik wstępny), 4 – zbiornik do wykorzystania na potrzeby kompostowania, 4a – zbiornik wstępny na substraty,
 5 – rurociąg zasilający, 6 – rurociąg mieszający, 7 – przelew, 8 – komora fermentacyjna,
 9 – rurociąg spustowy, 10 – nagrzewnica, 11 – rurociąg gazowy, 12 – bezpiecznik,
 13 – przerywacz płomienia, 14 – odwadniacz, 15 – odsiarczalniki, 16 – gazomierz,
 17 – zbiornik gazu, 18 – przerywacz płomienia, 19 – piec c.o. lub ciepła woda zasilana z agregatu prądotwórczego, 20 – komory spustowe, 21 – drenaż, 22 – zbiornik na odciek,
 23 – rozrzutnik z ciągnikiem, 24 – płyta kompostowa, 25 – wentylator

Pompa układu mieszania np. typu UM 200-125 zasysa za pomocą rurociągu gnojowicę z dolnej części komory i tłoczy do jej górnej części. w celu niedopuszczenia do gromadzenia się osadów na dnie komory istnieje możliwość przetłaczania jej do górnej części komory, powodując w ten sposób intensywne wymieszanie. Rurociąg spustowy umożliwia opróżnianie komory fermentacyjnej przez odprowadzenie jej zawartości do zbiornika magazynującego gnojowicę przefermentowaną. Gaz z komory odprowadzany jest rurociągiem. Do zabezpieczenia instalacji gazowej przed nadmiernym wzrostem ciśnienia służy bezpiecznik

cieczowy, odprowadzający nadmiar gazu do atmosfery. Przed cofnięciem się płomienia instalacja wyposażona jest w przerywacze płomienia.

Do oczyszczania gazu zastosowano dwa odsiarczalniki pracujące szeregowo oraz odwadniacz. Proces odsiarczania będzie polegał na przepuszczaniu gazu przez masę odsiarczającą, umieszczoną na półkach odsiarczalników. Głównym składnikiem masy odsiarczającej jest ruda darniowa. Licznik gazu umożliwia kontrolę produkcji gazu. Gaz jest zmagazynowany w zbiorniku dzwonowym. Ciśnienie gazu wymagane do prawidłowej pracy przyborów wynosi 150-200 mm H₂O. Gaz ze zbiornika skierowany jest do kotła wodnego, którego praca jest zautomatyzowana. Kocioł jest przystosowany do wykorzystywania dwóch źródeł energii: elektrycznej, włączanej przy rozruchu i w wypadku awarii biogazowni, oraz biogazu.

Ciepła woda do podgrzewania masy fermentacyjnej doprowadzana jest z agregatu prądotwórczego rurami do nagrzewnicy komory. Ma ona za zadanie doprowadzić temperaturę gnojowicy do ok. 36°C i utrzymać na takim poziomie w czasie procesu fermentacji. Stałą temperaturę gnojowicy w komorze zapewnia regulator temperatury (termostat). Pozostała część gazu będzie zużyta w przyborach gazowych gospodarstwa. Podstawowymi zespołami biogazowni są: komora fermentacyjna, zbiornik biogazu, instalacja zasilająca komorę fermentacyjną oraz instalacja grzewcza łącznie z odsiarczalnikiem. Świeża gnojowica podawana jest do komory fermentacyjnej w dwóch porcjach po ok. 2,5 m³ (4% pojemności komory fermentacyjnej). Pierwsza porcja podawana jest o godzinie 7.00, druga o godzinie 15.00. Podawana gnojowica ma temperaturę ok. 20°C. w komorze fermentacyjnej temperatura wynosi ok. 36°C. Po dodaniu jednej porcji w ilości 2,5 m³ i ujednorodnieniu za pomocą pompy mieszającej, temperatura w komorze obniża się zwykle o 0,5°C. w takich warunkach pracy instalacja, nawet przy niekorzystnej temperaturze otoczenia, wytwarza w ciągu doby netto 70 m³ biogazu o zawartości składników podanych w tabeli 2.5.

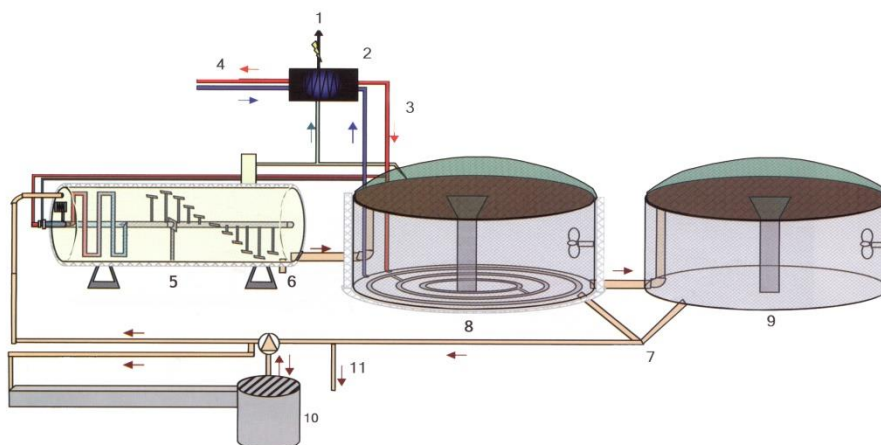
Tabela 2.5. Średnia zawartość składników biogazu [%]

	Czerwiec	Październik
CH ₄	56,2	59,95
CO ₂	40,1	35,79
H ₂ S	0,5	0,55
CO	0,3	0,40

N ₂	2,9	3,31
----------------	-----	------

Źródło: ROMANIUK I IN. [2012]

Instalację biogazową o dwustopniowym systemie fermentacji oraz o mocy elektrycznej 70 kW i mocy cieplnej 100 kW przedstawiono schematycznie na rysunku 2.8. Dane techniczne instalacji według rysunku 4 przedstawiono w tabeli 2, a charakterystykę procesu biogazowni przedstawiono w tabeli 2.6.



Źródło: Aria Energies [2012].

Rys. 2.8. Schemat instalacji biogazowej w Zespole Rolników GAEC (Francja) według „Aria Energies”

1 – podłączenie do sieci elektrycznej, 2 – agregat-kogenerator 70 kWe, 3 – podgrzewanie komory, 4 – pobór energii cieplnej, 5 – zbiornik fermentacyjny poziomy, 6-7 – zawory, 8 – zbiornik fermentacyjny, 9 – zbiornik pofermentacyjny, 10 – zbiornik wstępny, 11 – pobór przefermentowanej gnojowicy

Tabela 2.6. Dane techniczne do instalacji przedstawionej na rysunku 2.8

Substrat do procesu	gnojowica (obornik bydłący)	1800 m ³ /rok
	kiszonka z kukurydzy	8 ha/rok
	zielonka ze zbóż	50-75 t/rok
	trawa z trawników	500 t/rok
Objętość fermentatora	poziomego	100 m ³
	pionowego	700 m ³

	magazynującego pionowego	700 m ³
Fermentacja metanowa	czas retencji	55 dni
	temperatura	40°C
	produkcja biogazu	300 000 m ³ /rok
Produkcja energii rocznie	produkcja CH ₄	170 000 m ³ /rok
	moc agregatu	70 kW
	moc cieplna	100 kW
	produkcja energii elektrycznej	560 MWh

Źródło: opracowanie własne na podstawie Aria Energies [2012].

Wyniki badań gnojowicy pod względem redukcji zanieczyszczeń przed i po fermentacji metanowej przedstawiono w tabeli 2.7.

Tabela 2.7. Charakterystyka gnojowicy przed i po fermentacji metanowej

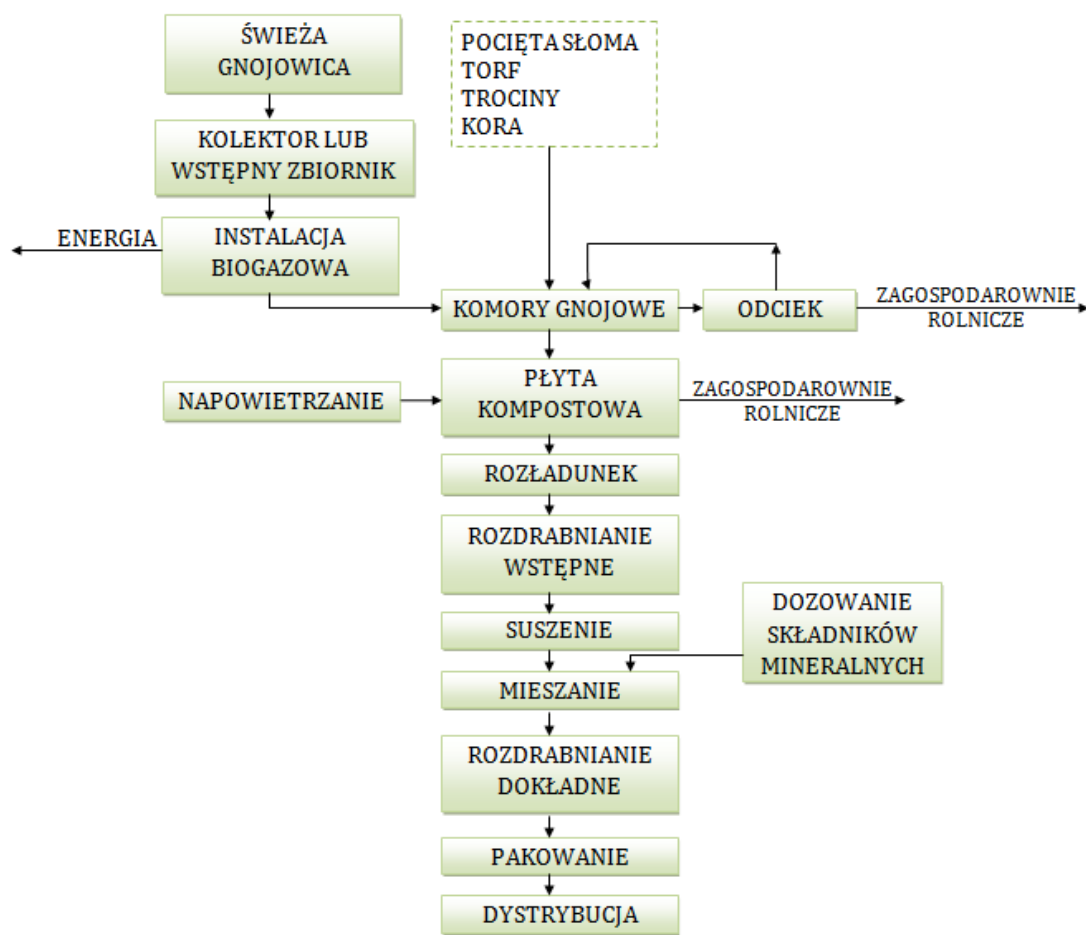
Oznaczenie	Jednostka	Przed fermentacją	Po fermentacji
ChZT (K ₂ Cr ₂ O ₇)	mg/dm ³	810,0	380,0
BZT ₅	mg/dm ³	476,0	290,0
Zawiesina ogólna	g/dm ³	55,5	44,0
Zawiesina mineralna	g/dm ³	4,4	3,6
Sucha pozostałość	g/dm ³	74,0	59,0
Pozostałość po prażeniu	g/dm ³	15,4	15,0
Fosforany	g/dm ³	0,032	0,022
Fosfor ogólny	g/dm ³	0,011	0,007
Azot amonowy	g/dm ³	0,208	0,126
Azot azotanowy	g/dm ³	0,078	0,050

Źródło: ROMANIUK I IN. [2012].

Czynnikami sprzyjającymi prawidłowej fermentacji w biogazowniach są:

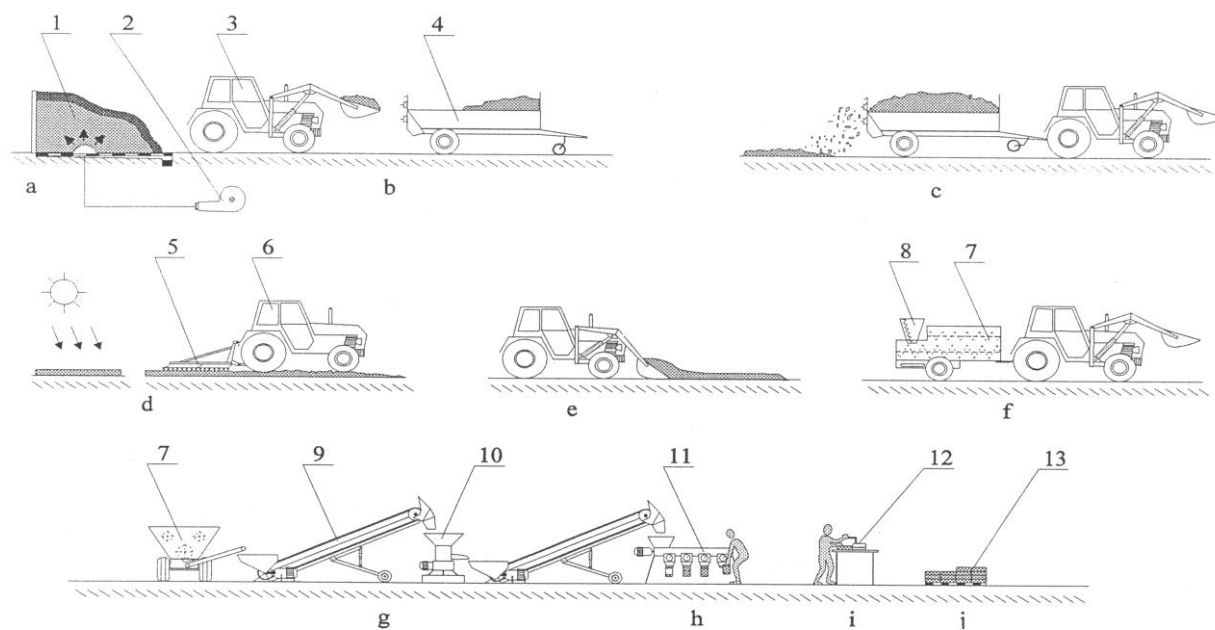
- zakres temperatur 35–38°C (przy czym wskazane jest utrzymywanie stałej temperatury);
- zawartość suchej masy, co najmniej 5%;
- mieszanie hydrauliczne lub mechaniczne (zapobiegające rozwarstwianiu się gnojowicy na frakcje i uaktywniające pracę bakterii);
- odczyn pH = 6,5–7,5;
- proporcja C do $N_{\max}$ = 100 do 3.

Pierwszym etapem w procesie zagospodarowania substratu pofermentacyjnego, w celu jego bardziej efektywnego wykorzystania, jest produkcja kompostu, którego zasadę przedstawiono schematycznie na rysunkach 2.9 i 2.10. Przefermentowana gnojowica poddawana jest dalszej obróbce, polegającej na wymieszaniu jej z pociętą słomą pokombajnową, torfem i innymi odpadkami rolniczymi. Masa kierowana jest do otwartej komory gnojowej, w której jest składowana około 3 miesięcy i przez cały okres fermentacji zraszana świeżą gnojowicą. w pierwszym etapie procesu kompostowania przebiegają głównie procesy beztlenowe w wyniku zaszczepienia bakteriami metanowymi z przetworzonej gnojowicy z biogazowni. Proces ten powoduje szybki rozkład cukrów złożonych, peptydów i lipidów do związków prostych i ich mineralizację. w następnym etapie kompostowana masa jest napowietrzana. w masie słomy rozpoczyna się proces fermentacji tlenowej, w czasie której temperatura osiąga 50-60°C. Pod koniec tego procesu temperatura spada. Wtedy należy powstałą masę wymieszać i ułożyć na płycie kompostowej i dodatkowo napowietrzać za pomocą dmuchawy. Kompostowana masa poddana intensywnemu napowietrzaniu, przechowywana jest przez okres jednego miesiąca.



Źródło: ROMANIUK [2005].

Rys. 2.9. Schemat obróbki gnojowicy i pozyskania biogazu oraz zagospodarowania masy pofermentacyjnej w gospodarstwie



Źródło: ROMANIUK I IN. [2012].

Rys. 2.10. Technologia produkcji nawozu organiczno-mineralnego BOKOM:

a – napowietrzanie, b – załadunek na rozrzutnik, c – rozrzucanie kompostu do suszenia, d – suszenie kompostu, e – zgarnianie kompostu i załadunek do wozu mieszającego, f – mieszanie kompostu z dodatkami, g – rozdrabnianie, h – pakowanie, l – zgrzewanie worków foliowych, j – magazynowanie; 1 – kompost, 2 – wentylator, 3 – ciągnik z ładowaczem czołowym, 4 – rozrzutnik obornika, 5 – brona zębowa, 6 – ciągnik, 7 – wóz mieszający, 8 – dozownik dodatków, 9 – przenośnik, 10 – rozdrabniacz, 11 – pakowarka, 12 – zgrzewarka, 13 – paleta

Finalny produkt kompostowania ma duży stopień biodegradacji (ok. 60%) i higienizacji. Jest bezpieczny pod względem bakteriologicznym i chemicznym dla ludzi i środowiska. Masa organiczna po kompostowaniu ma wilgotność ponad 60%. Wilgotność całej masy należy sprowadzić do około 40%. Suszenie w sprzyjającej pogodzie wykonuje się na słońcu – przerzucając substrat rozłożony cienką warstwą na płycie betonowej. w okresie niesprzyjającym dosuszanie można prowadzić w suszarni podłogowej z nawiewem ciepłego powietrza. Wilgotność można sprawdzić metodą suszarkowo-wagową.

Wysuszoną masę należy przesiać w celu wyeliminowania zanieczyszczeń mechanicznych i poddać rozdrobnieniu. Tak przygotowana masa jest podstawowym składnikiem nawozu. Na tej bazie opracowano dwie mieszanki nawozowe: BIOKOM-1 i BIOKOM-2. Pierwsza mieszanka (o odczynie pH = 7,5) przeznaczona jest do nawożenia warzyw, upraw polowych, działkowych, w szklarniach i tunelach foliowych; druga zaś do zastosowania w uprawach roślin iglastych (pH = 5,5).

Skład ilościowy nawozu BIOKOM-1:

<u>Składnik</u>	<u>Proporcje objętościowe [%]</u>
Kompost	60
Torf	10
Kora drzew iglastych	10
Pomiot kurzy	10
Dolomit	10

Aby proces całego cyklu kompostowania przebiegał skutecznie, należy zachować odpowiednie podstawowe warunki sprzyjające temu procesowi. Są to:

- temperatura w granicach 50–60°C;
- wilgotność 40–50%;

- zapotrzebowanie na tlen ok. 1 m³ na kg kompostowanej masy;
- optymalna wartość pH = 6,0–7,5;
- rozdrobnienie cząsteczek organicznych przyspieszające stopień rozkładu przez zwiększenie aktywności mikrobiologicznej.

Skład ilościowy nawozu BIOKOM-2:

<u>Składnik</u>	<u>Proporcje objętościowe [%]</u>
Torf	50
Kora drzew iglastych	10
Kompost	30
Magnezyt	5
Siarczan amonu	5

W wyniku zastosowanej technologii, oprócz kompostu, powstaje odciek pofermentacyjny, którego ładunki zanieczyszczeń są znacznie zredukowane w stosunku do gnojowicy surowej. We wspomnianym gospodarstwie odcinek jest stosowany do rolniczego nawożenia użytków zielonych w dogodnych warunkach agrotechnicznych.

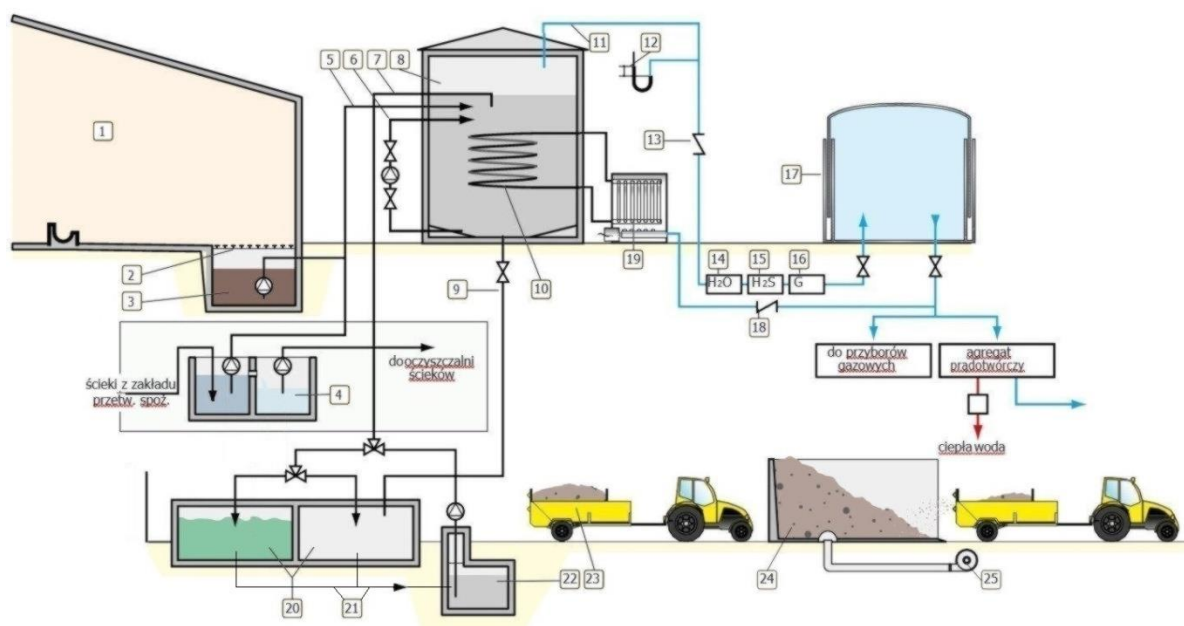
Zastosowanie instalacji biogazowych na potrzeby właścicieli ubojni i zakładów mięsnych

Przemysł mięsny wytwarza każdego roku w Polsce znaczące ilości odpadów poubojowych, który niewłaściwie zagospodarowane i wykorzystane mogą stanowić ogromne niebezpieczeństwo dla środowiska naturalnego i ludzi, a także prowadzić do wybuchu epidemii. Z ekonomicznego punktu widzenia utylizacja tego typu odpadów i cały jej proces jest dość kosztownym przedsięwzięciem i wiąże się z zachowaniem najwyższych norm i standardów regulowanych odpowiednimi przepisami. Dlatego też jednym z metod zagospodarowania odpadów poubojowych jest wykorzystanie ich jako substratu do produkcji biogazu.

Przetwarzanie różnych części roślin, przede wszystkim łodyg i liści ma istotny wpływ na właściwości przerabianej przez bakterie masy i wydajność metanu. Ponadto wykorzystuje się również pasze i mieszanki paszowe, które są nieprzydatne do skarmiania, a także niektóre odpady komunalne ulegające biologicznej degradacji. Interesującym substratem dla procesu biogazowania są odpady poubojowe oraz odpady z przemysłu spożywczego.

Najprostsza instalacja biogazowa składa się z układu przygotowania i podawania biomasy, komory fermentacyjnej, zbiornika magazynowego na przefermentowany substrat, zbiornika

biogazu oraz w zależności od produkcji energii elektrycznej lub cieplnej agregatu prądotwórczego lub kogeneracyjnego (rys. 2.11).



Źródło: GŁASZCZKA I IN. [2010].

Rys. 2.11. Podstawowe zespoły instalacji biogazowej. 1 – budynek inwentarski, 2 – ruszt, 3 – kanał gnojowicowy (zbiornik wstępny), 4 – zbiornik do gromadzenia pozostałości trudnych do fermentacji, 5 – rurociąg zasilający, 6 – rurociąg mieszający, 7 – przelew, 8 – komora fermentacyjna, 9 – rurociąg spustowy, 10 – nagrzewnica, 11 – rurociąg gazowy, 12 – bezpiecznik, 13 – przerywacz płomienia, 14 – odwadniacz, 15 – odsiarczalnica, 16 – gazomierz, 17 – zbiornik gazu, 18 – przerywacz płomienia, 19 – piec c.o., 20 – komory kompostowe, 21 – drenaż, 22 – zbiornik na odciek, 23 – rozrzutnik z ciągnikiem, 24 – płyta kompostowa, 25 - wentylator

Według ustawy o odpadach posiadacz odpadów zajmujący się ich odzyskiem jest zobowiązany do prowadzenia ewidencji ilościowej i jakościowej przetwarzanych odpadów.

Fermentację metanową w zależności od temperatury można podzielić na trzy grupy: fermentacja psychrofilna, fermentacja mezofilna, fermentacja termofilna. Ze względu na konieczność zapewnienia i zużycia dużej ilości energii na ogrzanie substratów, może być stosowana m.in. w procesie fermentacji metanowej odpadów poubojowych.

Temperatura, w której przebiega fermentacja metanowa odpadów poubojowych może wynosić do 70°C, przy której wzrasta efektywność bakterii metanogennych. Równie ważnym czynnikiem wpływającym na fermentację jest zabieg mieszania. Mieszanie powoduje

jednorodność całej konsystencji oraz utrzymuje jednakową temperaturę substratów, a także umożliwia odgazowanie i zmniejszenie ilości dwutlenku węgla oraz umożliwia zagęszczenie biomasy poprzez oddzielenie wody nadosadowej.

Najczęściej używane surowce organiczne z produkcji rolnej to odchody zwierząt (obornik), a także uprawy z energetycznych roślin (tabela 2.8).

Tabela 2.8. Surowce do produkcji biogazu

Rolnicze	Miejskie	Przemysłowe (odpady z przemysłu)
– obornik, gnojowica, (odchody zwierząt gospodarskich) – uprawy energetyczne – substancje organiczne z produkcji roślinnej	– frakcja organiczna odpadów miejskich – osad ściekowy – ścinki traw i odpady organiczne – resztki jedzenia	– spożywczego (mleczarskiego, cukrowniczego, mięsnego) – farmaceutycznego – kosmetycznego – biochemicznego – papierniczego

Źródło: GLASZCZKA I IN. [2010].

Podstawowymi substratami do produkcji biogazu są obornik, gnojowica i rośliny energetyczne. Niemniej jednak z przyczyn praktycznych do produkcji biogazu wykorzystuje się także odpady pochodzące z przemysłu mięsnego. Są to najczęściej jelita, żołądki, zawartość żwaczy, tkanka tłuszczowa, krew i tłuszcz. Ze względu na fakt, iż utylizacja tego typu odpadów musi przebiegać zgodnie z określonymi przepisami, podzielono je na trzy grupy określające stopień zagrożenia dla ludzi i zwierząt – odpady niskiego, wysokiego i szczególnego ryzyka. Odpady niskiego ryzyka (kategoria 3) to np. rogi, kopyta, racice, sierść, pióra, skóra, wełna, krew oraz wyroby spożywcze nieprzeznaczone do spożywania, żywność poza terminem ważności. Do odpadów wysokiego ryzyka (kategoria 2) można zaliczyć np. zwłoki zwierząt, zwierzęta martwo urodzone, odpady pochodzące od zwierząt, u których stwierdzono objawy choroby zakaźnej niebezpiecznej dla ludzi i zwierząt, niezbadane części zwierząt rzeźnych. Do grupy szczególnego ryzyka (kategoria 1) można zaliczyć np. odpady, które nadają się głównie do spalania, czyli mózg, czaszki, rdzenie kręgowo- bydła. Zawartość odpadów poubojowych, jaka może zostać użyta w produkcji biogazu jest uzależniona od zawartości suchej masy. Substraty pochodzące z ubojni oraz zakładów

mięsnych charakteryzują się wysokim potencjałem energetycznym w produkcji biogazu (tabela 2.9).

Tabela 2.9. Potencjał energetyczny wybranych odpadów poubojowych

Rodzaj substratu	Zawartość w odpadzie [%]		Produkcja metanu [m ³ /t suchej masy]
	suchej masy	materii organicznej	
Zawartość zwaczy	14	88	24
Jelita i żołądki	16	82	39
Tkanka tłuszczowa	37	84	218
Krew	10	95	38
Tłuszcz	36	84	212
Osady poflotacyjne z rzeźni	14	90	88

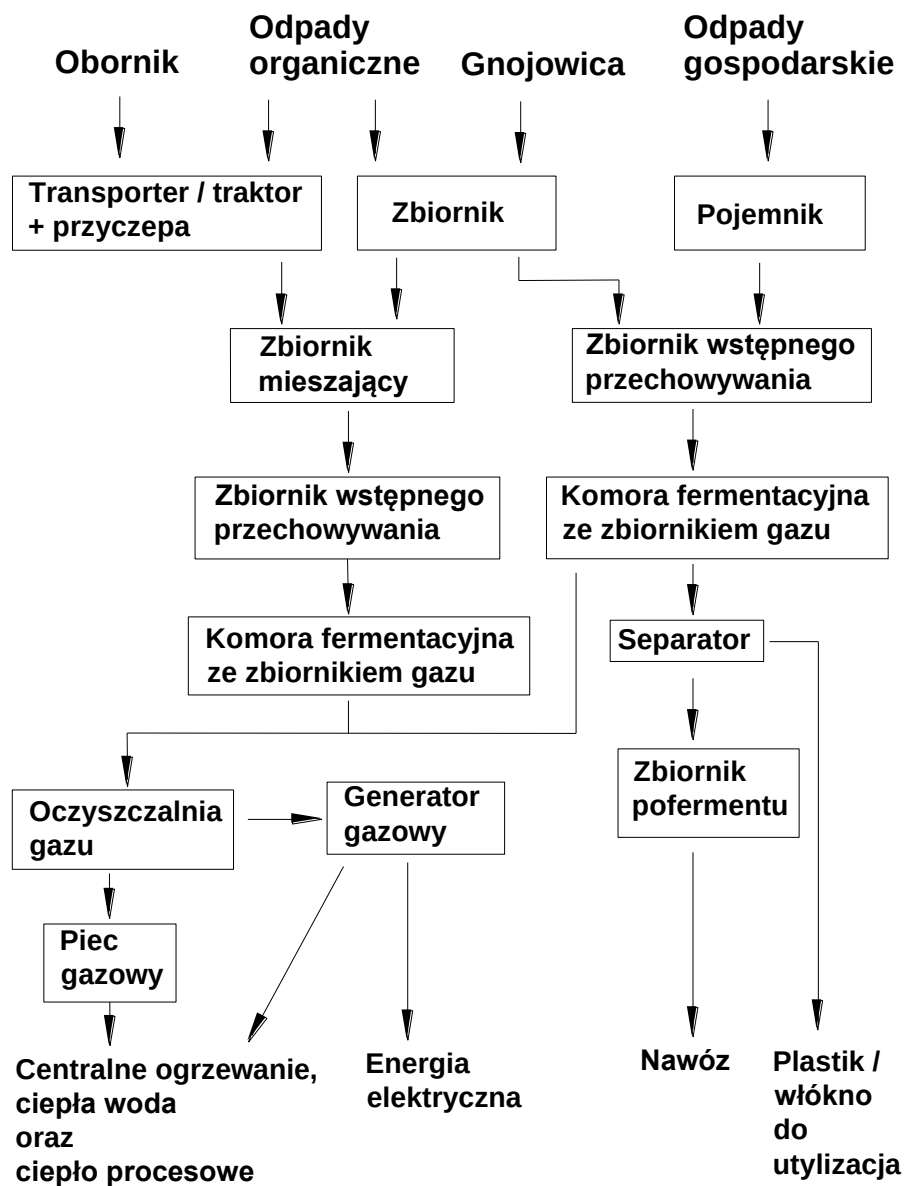
Źródło: PISULA, FLOROWSKI [2009].

Zastosowanie substratów poubojowych w biogazowni wymaga ich odpowiedniego przygotowania. Dlatego też niektóre odpady poubojowe niskiego ryzyka (kat. 3) przed zastosowaniem ich do produkcji biogazu muszą zostać poddane rozdrobnieniu do wielkości cząstek nie większej niż 12 mm oraz higienizacji, która polega na ogrzewaniu tych odpadów w temperaturze powyżej 70°C przez 60 minut tak, aby zahamować rozwój drobnoustrojów chorobotwórczych. Natomiast w przypadku zastosowania substratów do biogazowni wysokiego ryzyka (kat. 2), przed ich wykorzystaniem należy poddać je procesowi sterylizacji, czyli obróbce ciśnieniowej polegającej na wyjałowieniu z wszelkich wirusów i bakterii w temperaturze 133°C przez 20 minut, przy ciśnieniu bezwzględnym 3 atmosfer przy wielkości cząstek nie większej niż 50 mm. Wśród odpadów poubojowych najlepszym substratem do produkcji metanu jest tłuszcz oraz tkanka tłuszczowa. Natomiast substraty o dużej zawartości białka, z których wytwarza się m.in. mączki mięsno-kostne oraz pasze mają mniejszy potencjał przy produkcji metanu. Substrat ma postać pulpy przeznaczonej na wsad do biogazowni. Substraty płynne są bezpośrednio przepompowywane do zbiorników wstępnego magazynowania. Następnie substraty płynne i stałe są ze sobą dokładnie wymieszane tworząc homogeniczną mieszaninę, po czym dostarczane są do komory fermentacyjnej, w której zachodzi fermentacja beztlenowa. w komorze fermentacyjnej znajduje się mieszadło pionowe, dzięki czemu cała masa fermentacyjna ma postać jednorodną, a ciągły proces mieszania zapobiega tworzeniu się osadów. w produkcji biogazu z odpadów poubojowych magazynem biogazu jest komora pofermentacyjna, w której również zachodzi proces fermentacji beztlenowej. Na rynku dostępne są technologie produkcji

biogazu, gdzie substratem są tylko i wyłącznie odpady poubojowe, bez konieczności dodawania składników pochodzenia roślinnego. Technologie te mogą różnić się między sobą systemami przygotowania substratów i procesami, jakimi muszą zostać poddane odpady mięsne.

Metoda utylizacji odpadów z przetwórstwa rolno – spożywczego w tym z ubojni i zakładów mięsnych poprzez produkcję biogazu jest uzasadniona ekonomicznie. w znacznym stopniu redukuje nakłady, jakie ponoszą firmy z sektora mięsnego na utylizację odpadów poubojowych. Dodatkową zaletą wykorzystywania tego typu substratów jest zmniejszenie ryzyka zanieczyszczenia wód gruntowych i gleby, ograniczenie emisji odorów i gazów cieplarnianych.

Przykładowe systemy technologiczne zrealizowanych instalacji biogazowych (w Danii) na potrzeby utylizacji gnojowicy i odpadów komunalnych i przetwórczych przedstawiono na rysunkach 2.12- 2.20.

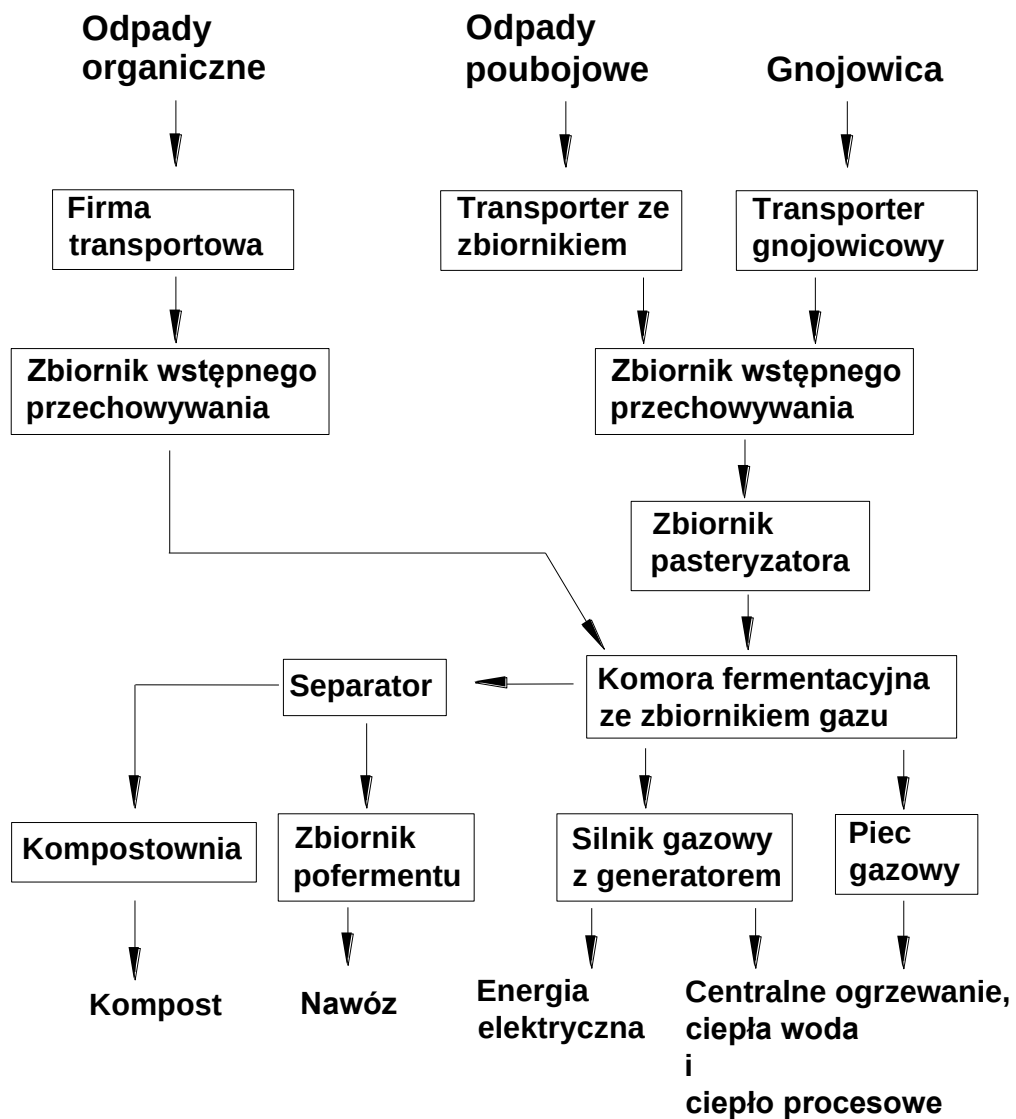


Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2.12. Schemat układu zespołów technologicznych instalacji biogazowej w miejscowości Sinding (Dania)

Charakterystyka	
Odczody zwierzęce	105 ton/dzień
Odpady przemysłowe	34 tony/dzień
Produkcja biogazu	2,06 Mm ³ /rok
Pojemność całkowita komór fermentacyjnych	2 100 m ³
Temperatura fermentacji	53°C
Zagospodarowanie biogazu	silnik gazowy oraz piec

Pojazdy	dwa transportery o pojemności 20 m ³
Droga transportu	średnio 5–6 km

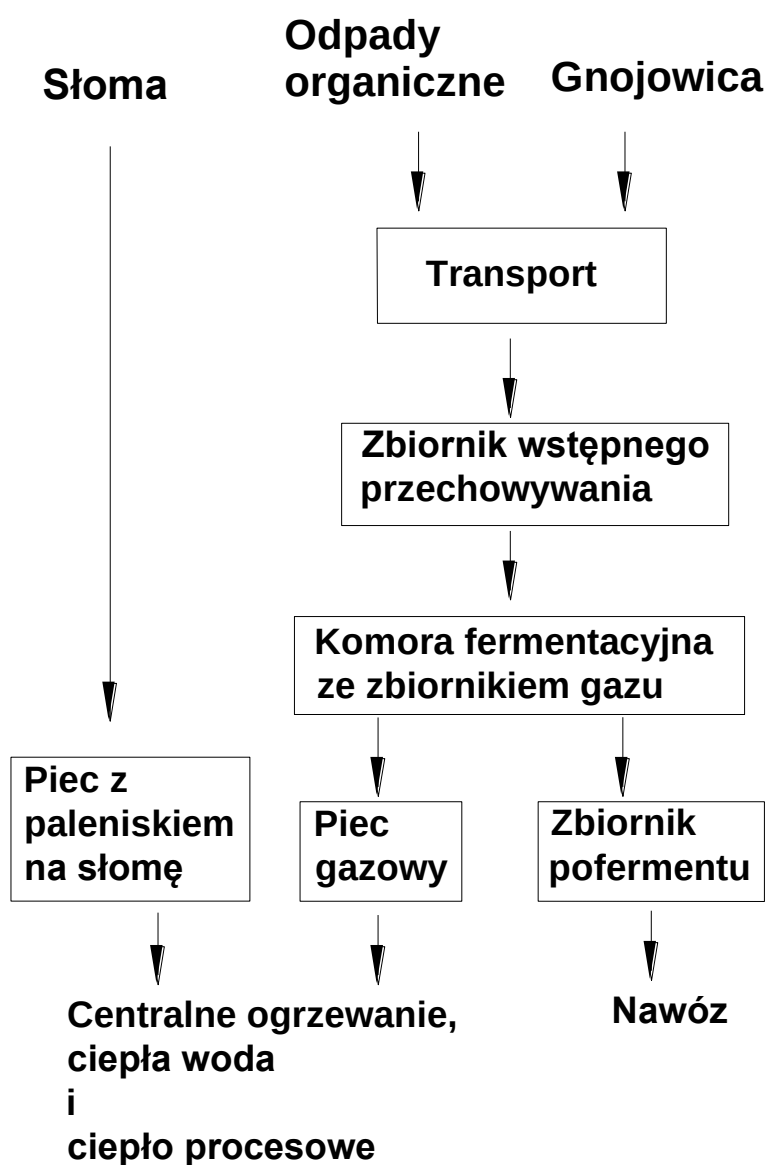


Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2.13. Schemat układu zespołów technologicznych instalacji biogazowej w miejscowości Fangiel (Dania)

Charakterystyka	
Gnojowica	129 ton/dzień
Odpady przemysłowe	32 tony/dzień
Produkcja biogazu	2,09 Mm ³ /rok
Pojemność całkowita komór fermentacyjnych	3 605 m ³

Temperatura pasteryzacji	55°C
Temperatura fermentacji	37°C
Zagospodarowanie biogazu	silnik gazowy oraz piec
Pojazdy	transporter o pojemności 20 m ³
Droga transportu	średnio 7–8 km

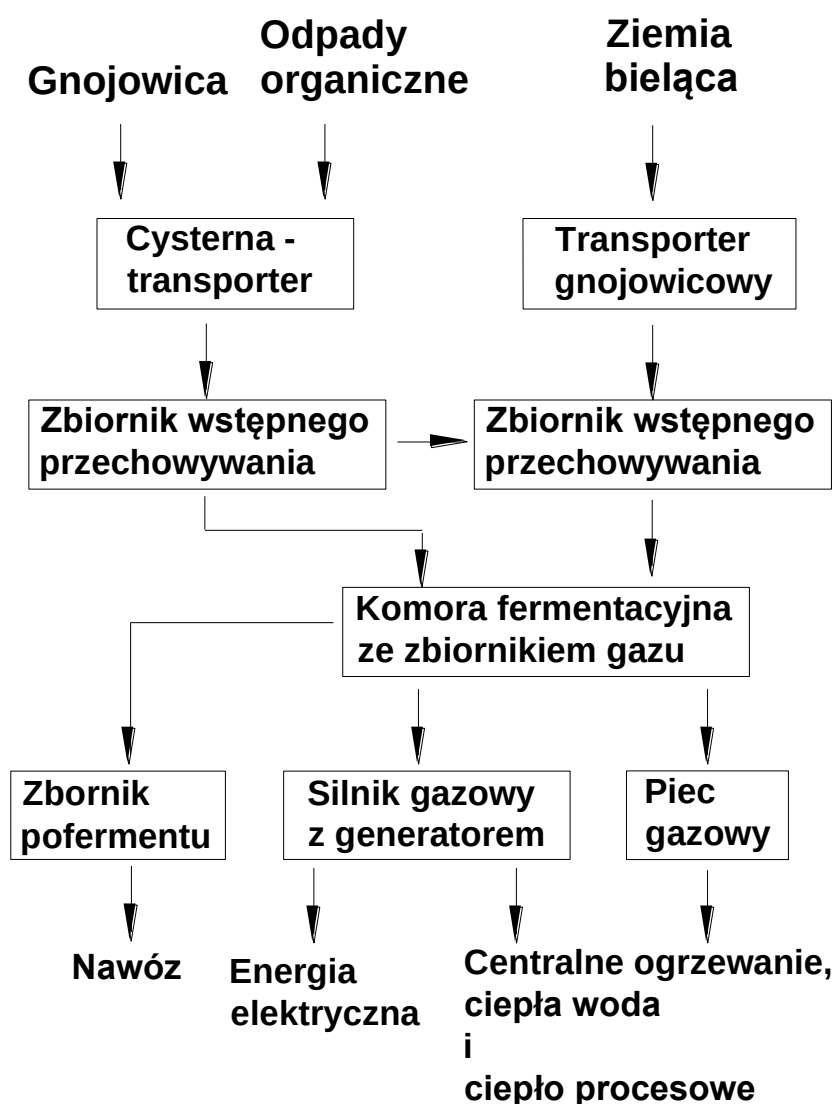


Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2.14. Schemat układu zespołów technologicznych instalacji biogazowej w miejscowości Davide (Dania)

Charakterystyka

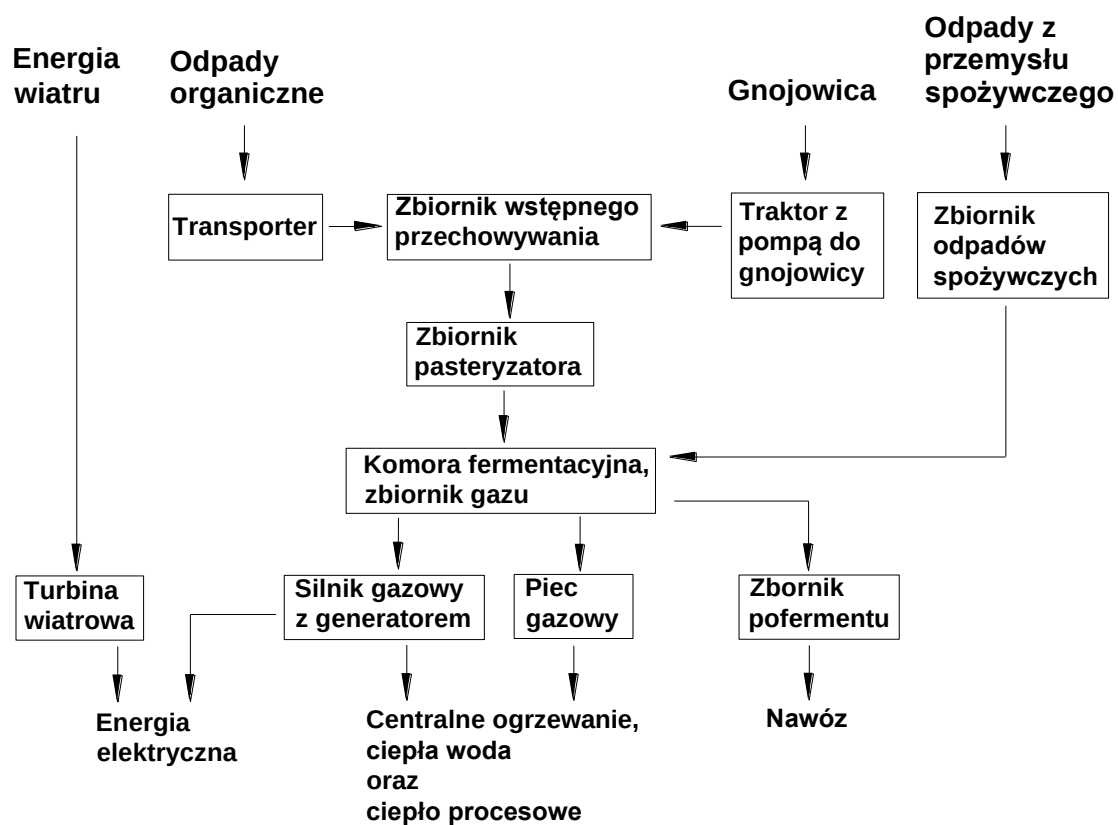
Gnojowica	39 ton/dzień
Odpady przemysłowe	3 tony/dzień
Produkcja biogazu	0,34 Mm ³ /rok
Pojemność całkowita komór fermentacyjnych	750 m ³
Temperatura fermentacji	36°C
Zagospodarowanie biogazu	piec gazowy
Pojazdy	traktor z cysterną o pojemności 14 m ³
Droga transportu	średnio 5–6 km



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2.15. Schemat układu zespołów technologicznych instalacji biogazowej w miejscowości Ribe (Dania)

Charakterystyka	
Gnojowica	301 ton/dzień
Odpady przemysłowe	42 tony/dzień
Produkcja biogazu	3,15 Mm ³ /rok
Pojemność całkowita komór fermentacyjnych	4 600 m ³
Temperatura fermentacji	53°C
Zagospodarowanie biogazu	silnik gazowy
Pojazdy	trzy cysterny
Droga transportu	średnio 7–8 km

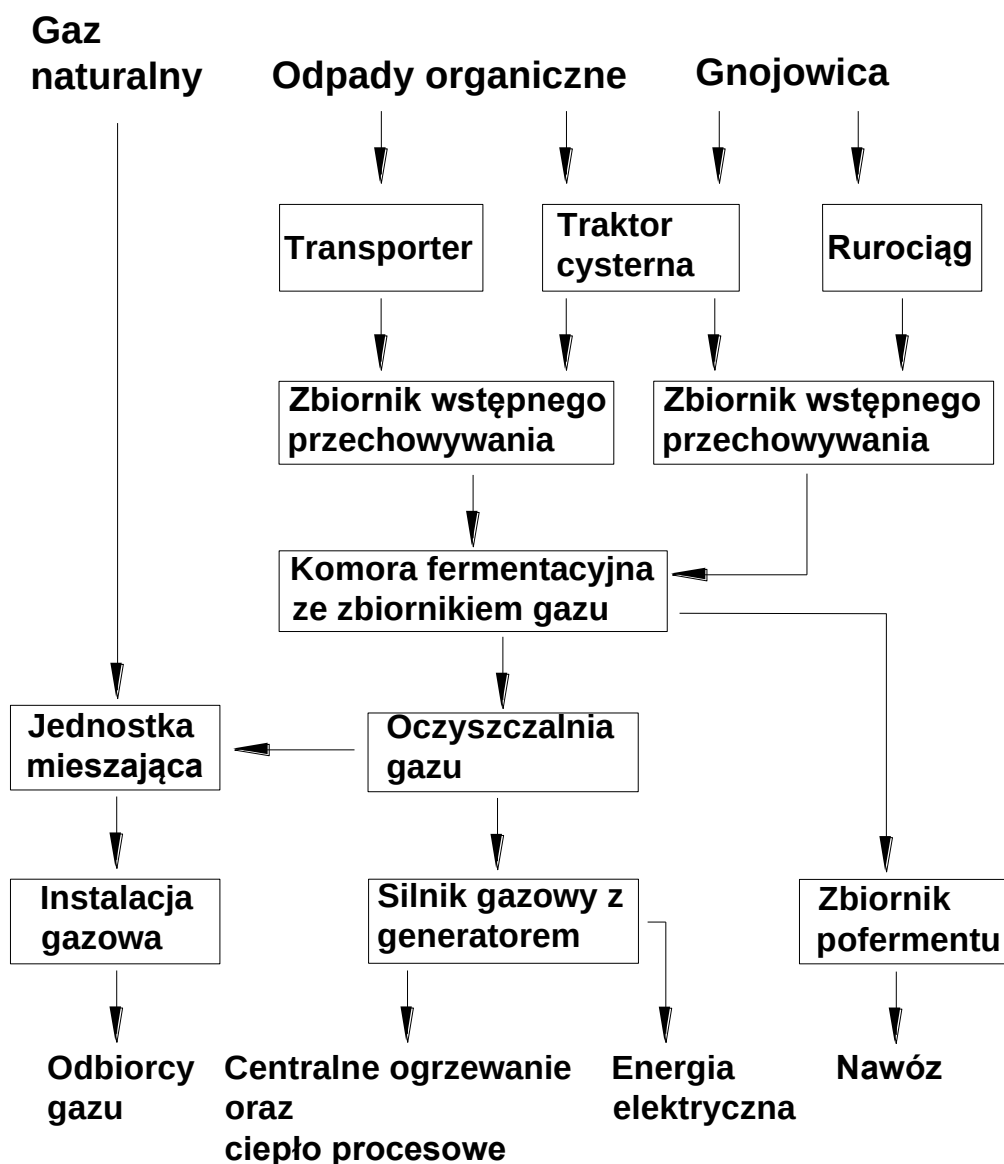


Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2.16. Schemat układu zespołów technologicznych instalacji biogazowej w miejscowości Vester Hjemtslev (Dania)

Charakterystyka	
Gnojowica	31 ton/dzień
Odpady przemysłowe	16 tony/dzień
Produkcja biogazu	3,15 Mm ³ /rok

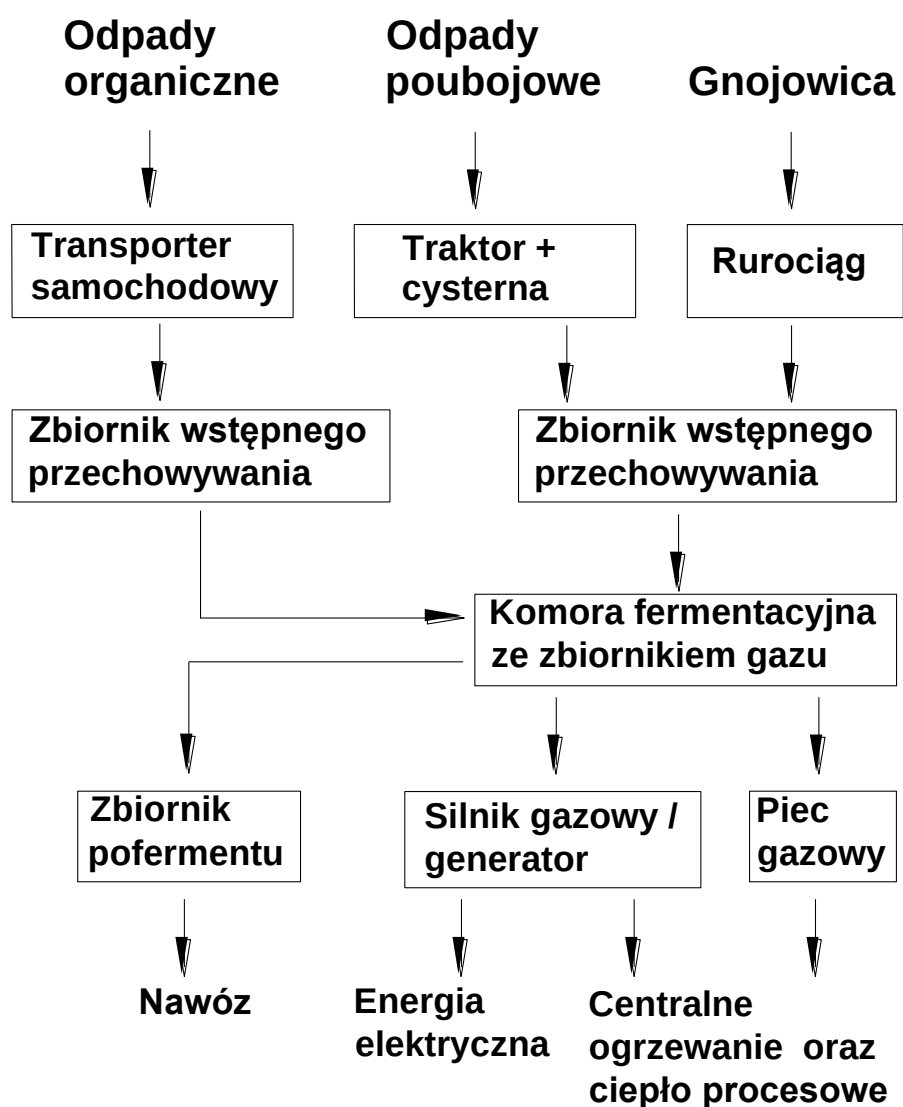
Pojemność całkowita komór fermentacyjnych	1 500 m ³
Temperatury pasteryzacji	55°C
Temperatura fermentacji	37°C
Zagospodarowanie biogazu	silnik gazowy oraz piec gazowy
Pojazdy	traktor z przyczepą do gnojowicy
Droga transportu	średnio 3–4 km



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2.17. Schemat układu zespołów technologicznych instalacji biogazowej w miejscowości Revninge (Dania)

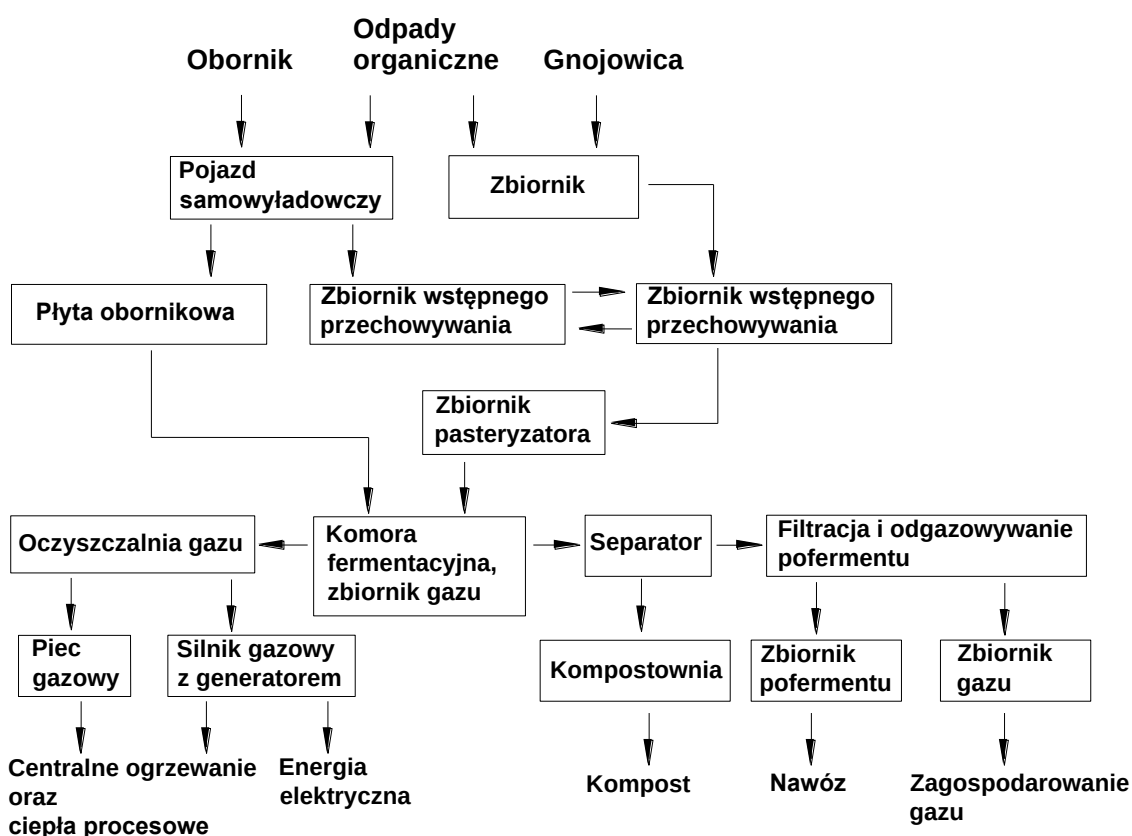
Charakterystyka	
Gnojowica	31 ton/dzień
Odpady przemysłowe	11 tony/dzień
Produkcja biogazu	0,37 Mm ³ /rok
Pojemność całkowita komór fermentacyjnych	540 m ³
Temperatura fermentacji	36°C
Zagospodarowanie biogazu	silnik gazowy oraz piec
Pojazdy	traktor z przyczepą do transportu gnojowicy



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2.18. Schemat układu zespołów technologicznych instalacji biogazowej w miejscowości Lemving (Dania)

Charakterystyka	
Gnojowica	400 ton/dzień
Odpady przemysłowe	40 tony/dzień
Produkcja biogazu	4,2 Mm ³ /rok
Pojemność całkowita komór fermentacyjnych	7 600 m ³
Temperatura fermentacji	55°C
Zagospodarowanie biogazu	silnik gazowy oraz piec gazowy
Pojazdy	trzy transportery
Droga transportu	średnio 7–8 km

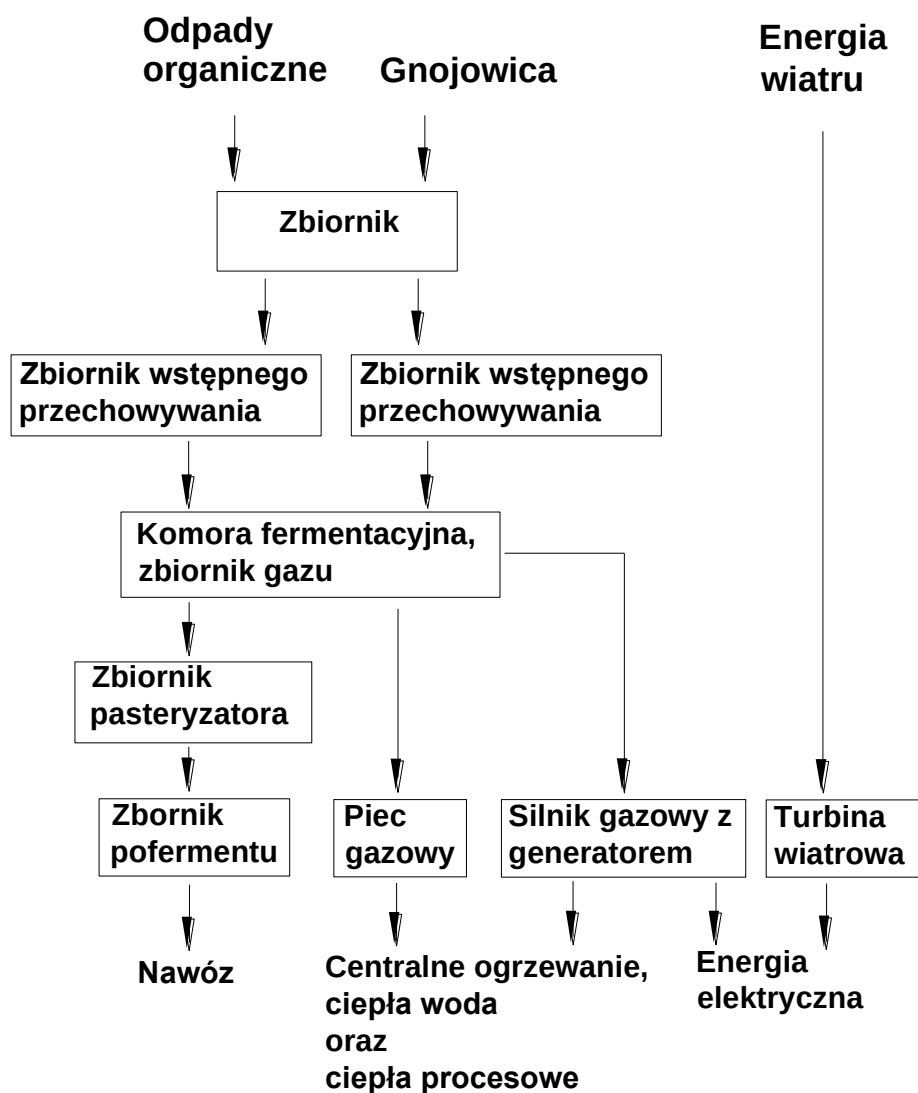


Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2.19. Schemat układu zespołów technologicznych instalacji biogazowej w miejscowości Lintrup (Dania)

Charakterystyka

Odchody zwierzęce	236 ton/dzień
Odpady przemysłowe	76 tony/dzień
Produkcja biogazu	3,44 Mm ³ /rok
Pojemność całkowita komór fermentacyjnych	6 900 m ³
Temperatura pasteryzacji	70°C
Temperatura fermentacji	36°C
Zagospodarowanie biogazu	silnik gazowy oraz piec gazowy
Pojazdy	transportery odpadów itp.
Droga transportu	średnio 6–7 km



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 2.20. Schemat układu zespołów technologicznych instalacji biogazowej w miejscowości Skovsgaard (Dania)

Charakterystyka	
Gnojowica	40 ton/dzień
Odpady przemysłowe	15 tony/dzień
Produkcja biogazu	1,38 Mm ³ /rok
Pojemność całkowita komór fermentacyjnych	1 450 m ³
Temperatura pasteryzacji	55°C
Temperatura fermentacji	38°C
Zagospodarowanie biogazu	silnik gazowy oraz piec gazowy
Pojazdy	pojemność cysterny 15 m ³

Droga transportu	średnio 7–8 km
------------------	----------------

e. Zagospodarowanie biogazu - CHP, oczyszczanie do postaci biometanu i jego przeznaczenie

Uzdatnianie biogazu do kogeneracji

W instalacji odnawialnego źródła energii, w której są spalane biomasa, biopłyny, biogaz lub biogaz rolniczy wspólnie z innymi paliwami, energię wytworzoną z odnawialnych źródeł energii stanowią energia elektryczna lub ciepło w ilości odpowiadającej udziałowi energii chemicznej biomasy, biopłynów, biogazu lub biogazu rolniczego w energii chemicznej paliwa zużywanego do wytwarzania energii, obliczonej na podstawie rzeczywistych wartości opałowych tych paliw, według wzoru zawartego w Rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 7 sierpnia 2018 r. w sprawie wymagań dotyczących sposobu obliczania, pomiarów i rejestracji ilości energii elektrycznej lub ciepła wytwarzanych w instalacjach odnawialnego źródła energii [Dz.U. 2018 poz. 1596]:

$$E_{OZE} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{Bi} W_{Bi}}{\sum_{i=1}^n M_{Bi} W_{Bi} + \sum_{j=1}^m M_{Kj} W_{Kj}} * E,$$

Gdzie:

E_{OZE} – ilość energii elektrycznej lub ciepła wytworzonych z odnawialnych źródeł energii w [MWh lub GJ],

E – ilość energii elektrycznej wytworzonej w instalacji odnawialnego źródła energii, w której są spalane biomasa, biopłyny, biogaz lub biogaz rolniczy wspólnie z innymi paliwami, lub ilość ciepła wytworzonego w instalacji odnawialnego źródła energii, w której są spalane biomasa, biopłyny, biogaz lub biogaz rolniczy wspólnie z innymi paliwami, w [MWh lub GJ],
 M_{Bi} – masa biomasy, biopłynów, biogazu lub biogazu rolniczego spalonych w instalacji odnawialnego źródła energii w [Mg],

M_{Kj} – masa paliwa innego niż biomasa, biopłyny, biogaz lub biogaz rolniczy spalonego w instalacji odnawialnego źródła energii w [Mg],

W_{Bi} – wartość opałowa biomasy, biopłynów, biogazu lub biogazu rolniczego spalonych w instalacji odnawialnego źródła energii w [MJ/Mg],

W_{Kj} – wartość opałową paliwa innego niż biomasa, biopłyny, biogaz lub biogaz rolniczy spalonego w instalacji odnawialnego źródła energii w [MJ/Mg],

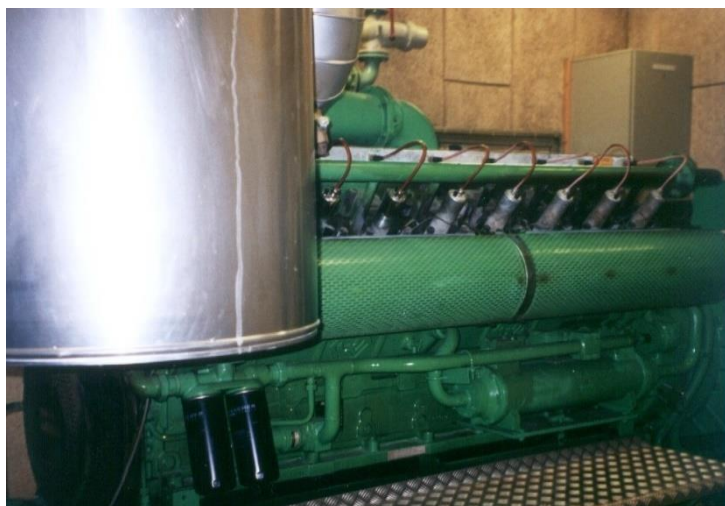
n – liczbę rodzajów biomasy, biopłynów, biogazu lub biogazu rolniczego spalonych w instalacji odnawialnego źródła energii,

m – liczbę rodzajów paliw innych niż biomasa, biopłyny, biogaz lub biogaz rolniczy spalonych w instalacji odnawialnego źródła energii.

W przypadku, kiedy do agregatu CHP dostarczony będzie tylko biogaz, odpowiednio wcześniej oczyszczony, wtedy wskaźniki dotyczące pozostałych nośników energii będą pominięte.

Trwałość agregatów kogeneracyjnych (fot. 2.1), stanowiących znaczny koszt inwestycyjny, w istotny sposób jest uzależniona od stopnia oczyszczenia biogazu z niekorzystnych domieszek gazowych, takich jak dwutlenek węgla, azot, siarkowodór, które stanowią od dwudziestu kilku do ponad czterdziestu procent objętości, dlatego istotną kwestią pozostaje rozwój technik jego oczyszczania [BIERNAT, SAMSON-BRĘK 2011]. Siarkowodór (H_2S) jest toksycznym i szkodliwym gazem, nie tylko zagraża zdrowiu fizycznemu człowieka, ale także powoduje korozję metalowych rur i urządzeń w gorących i wilgotnych warunkach. Jeżeli nie zostanie usunięty z biogazu, to podczas spalania zostanie utleniony do SO_2 , który jest jednym z głównych zanieczyszczeń atmosferycznych [MAAS 1987]. w celu uniknięcia wyżej wymienionych problemów związanych z wykorzystaniem energii biogazu normy europejskie stanowią, że H_2S w biogazie nie powinien przekraczać $20 \text{ mg} \times \text{m}^{-3}$. Jednakże stężenie H_2S w biogazie wynosi zwykle $200\text{-}18000 \text{ mg} \times \text{m}^{-3}$ [DAI, FANG 2008].

Tradycyjne technologie odsiarczania biogazu obejmują odsiarczanie na mokro, odsiarczanie na sucho i odsiarczanie biologiczne.



Źródło: Wardal W.J.

Fot. 2.1 Przykładowy agregat kogeneracyjny

Metoda utleniania na mokro

Mokre odsiarczanie polega na absorpcji i utlenianiu H_2S zawartego w biogazie przez obojętny lub słaby roztwór zasadowy zawierający utleniacz, dzięki czemu można go zredukować do siarki elementarnej, a katalizator można zregenerować za pomocą powietrza [FENG I IN. 2003]. z powodu różnej absorpcji i katalizatora istnieje wiele różnych metod odsiarczania, takich jak proces oparty na związkach arsenu, proces oparty na wanadzie, proces oparty na żelazie, etc. Zasadą procesu opartego na żelazie jest to, że siarkowodor jest wspierany przez nośnik tlenu w roztworze alkalicznym, a tlenek żelaza jest katalizowany w celu utleniania siarki. Katalizator zredukowany przez siarkowodor można regenerować powietrzem, a Fe^{2+} utlenia się do Fe^{3+} .

Odsiarczanie suche

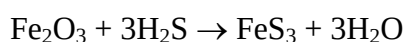
Suche odsiarczanie polega na usuwaniu siarkowodoru za pomocą środka odsiarczającego w postaci proszku lub cząstek. Reakcja jest przeprowadzana w stanie całkowicie suchym, więc nie będzie korozji, tworzenia się kamienia i osadów. Powszechnie stosowane metody to separacja membranowa, metoda adsorpcji w złożu stałym i proces utleniania Clausa.

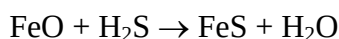
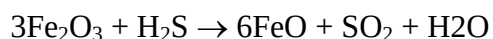
Separacja membranowa

Separacja membranowa to nowa technika separacji, która łączy rozdzielanie gazu na bazie membrany z tradycyjną adsorpcją fizyczną, absorpcją chemiczną i obróbką kriogeniczną. w porównaniu z tradycyjną technologią absorpcji, separacja membranowa posiada zaletę w postaci dużej powierzchni kontaktu gazu z cieczą, dużą wydajność pracy. Warunkiem skuteczności tej metody jest różnica ciśnień między gazem a cieczą wynosząca 50-500 kPa [JANSEN I IN. 2002]. Wyniki pokazują, że stopień odsiarczania pojedynczego modułu membranowego wynosi do 97%, gdy zawartość H_2S wynosi $296 \text{ mg} \times \text{m}^{-3}$.

Metoda adsorpcji ze stałym złożem

W wielu metodach adsorpcji w złożu stałym metoda odsiarczania za pomocą tlenku żelaza jest klasyczną i skuteczną metodą odsiarczania, która jest nadal szeroko stosowana w oczyszczaniu biogazu ze względu na prosty proces, łatwą obsługę i niskie zużycie energii. Zasada odsiarczania przebiega według następujących wzorów (CONG *et al.* 2017):





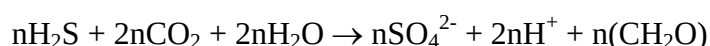
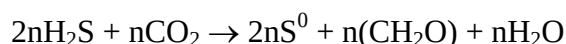
Proces utleniania Clausa

W pierwszym etapie procesu H_2S jest częściowo utleniany do SO_2 za pomocą powietrza. Następnie mieszanina H_2S / SO_2 jest poddawana reakcji na katalizatorze boksytu w celu uzyskania siarki elementarnej (S^0) i wody. w procesie oczyszczania metodą Clausa wychwytywanie siarki wynosiło 94% - 96%. Proces Clausa jest jednym z najpopularniejszych procesów stosowanych do usuwania siarkowodoru z odzyskiem siarki na skalę przemysłową (Kim & Chang 1991).

Biologiczna technologia odsiarczania - oczyszczanie fotoautotroficzne

W porównaniu z metodami fizycznymi i chemicznymi, proces odsiarczania biologicznego ma wiele zalet: wysoka wydajność usuwania zanieczyszczeń gazowych, brak katalizatora chemicznego, niskie zużycie energii.

W obecności światła, CO_2 i nieorganicznych składników odżywczych, bakterie odsiarczające autotroficzne (Bakterie siarkowe *Thiobacillus*, *Thiothrix*) mogą wykorzystywać CO_2 do syntezy nowych substancji komórkowych, podczas gdy H_2S utlenia się do elementarnej siarki lub siarczanu. Proces reakcji jest następujący [SYED I IN. 2006]:



W procesie utlenienia H_2S do siarki elementarnej ważna jest również intensywność światła [CONG I IN. 2017]. Dzieje się to za pomocą barwnika zawartego w komórkach - bakteriochlorofilu, który wychwytuje światło o długości fali poniżej 400 nm i powyżej 700 nm.

Barierą rozwoju biologicznej technologii odsiarczania jest konieczność stałej kontroli biochemicznej.

Wyżej wymienione technologie oczyszczania biogazu są metodami podstawowymi, natomiast w praktyce istnieją rozmaite systemy pokrewne. w poniższej tabeli 2.10 zamieszczono zestawienie porównawcze.

Tabela 2.10. Porównanie różnych metod oczyszczania biogazu przy założeniu stężenia początkowego siarkowodoru do 3000 ppm

Lp.	Numer metody oczyszczania biogazu (zasadniczy sorbent lub reagent)	Zakres wydajności odsiarczania biogazu, %	Koszty inwestycyjne w skali: niskie, średnie, wysokie	Koszty eksploatacyjne w skali: niskie, średnie, wysokie	Preferencje inwestorów (metoda powszechna, spotykana lub rzadka) ze wskazaniem kryterium wyboru: techniczne, ekonomiczne lub łączone
1.	Ruda darniowa naturalna, tlenki żelaza	zwykle do 90	Średnie	Średnie	metoda powszechna - kryterium łączone
2.	Odpadowe osady boksytowe	do 95	średnie	niskie	metoda rzadka - kryterium łączone
3.	Węgiel aktywny modyfikowany	do 95	wysokie	średnie	metoda spotykana - kryterium techniczne
4.	Sita molekularne lub SiO ₂	do 99	średnie	niskie	metoda rzadka - kryterium techniczne
5.	Sorbent haloizytowy	zwykle do 99,8	średnie	niskie	metoda rzadka - kryterium łączone
6.	Roztwory mocnych zasad jak KOH lub NaOH	nie mniej niż 94	średnie	wysokie	metoda spotykana - kryterium techniczne
7.	Roztwory utleniaczy	powyżej 95	średnie	wysokie	metoda rzadka - kryterium łączone
8.	Roztwory prostych soli żelaza, np. FeCl ₃	od 97 do 100	niskie	średnie	metoda spotykana - kryterium techniczne
9.	Roztwory chelatów żelaza	od 95 do 100	średnie	średnie	metoda spotykana - kryterium techniczne
10.	Komory fermentacyjne	zwykle do 80-99	średnie	niskie	metoda spotykana - kryterium łączone
11.	Biofiltry różnych typów, w tym metoda firmy CES	zwykle do 95, niekiedy do 99	średnie	niskie	metoda spotykana – kryterium techniczne

12.	Bioskrubery	zwykle od 70mdo 98	średnie	średnie	metoda spotykana - kryterium techniczne
13.	Fotoreaktory	80-100	wysokie	średnie	metoda rzadka – kryterium techniczne
14.	Mieszanina wodno-popiołowa	do 70	średnie	niskie	metoda rzadka - kryterium łączone
15.	Metoda płuczki wodnej	> 96	Wysokie	średnie	metoda powszechna - kryterium techniczne
16.	Genosorb i inne rozpuszczalniki	> 96	Wysokie	wysokie	metoda spotykana - kryterium techniczne
17.	Inne technologie, np. usuwanie CO ₂ metodą adsorpcji zmiennociśnieniowej	> 95	Wysokie	wysokie	metoda spotykana - stosowana po uprzednim odsiarczeniu biogazu - kryterium techniczne

Źródło: ŻARCZYŃSKI I IN. 2015.

Wnioski

Obecnie tradycyjne technologie odsiarczania, w tym odsiarczanie na sucho i odsiarczanie na mokro, są częściej stosowane, ale istnieją pewne problemy, takie jak wysokie koszty odsiarczania, czy konieczność kontrolowania procesu. Wraz z coraz bardziej rygorystycznymi przepisami i regulacjami dotyczącymi ochrony środowiska, rozwój wydajnej technologii niskonakładowej, recyklingowej i bez dwóch zanieczyszczeń stał się głównym nurtem rozwoju technologii odsiarczania. Jako nowa technologia – odsiarczanie biologiczne może stanowić metodę przyszłościową ze względu na zalety niskiego zużycia energii i równoczesne usuwanie dwóch zanieczyszczeń: CO₂ i H₂S.

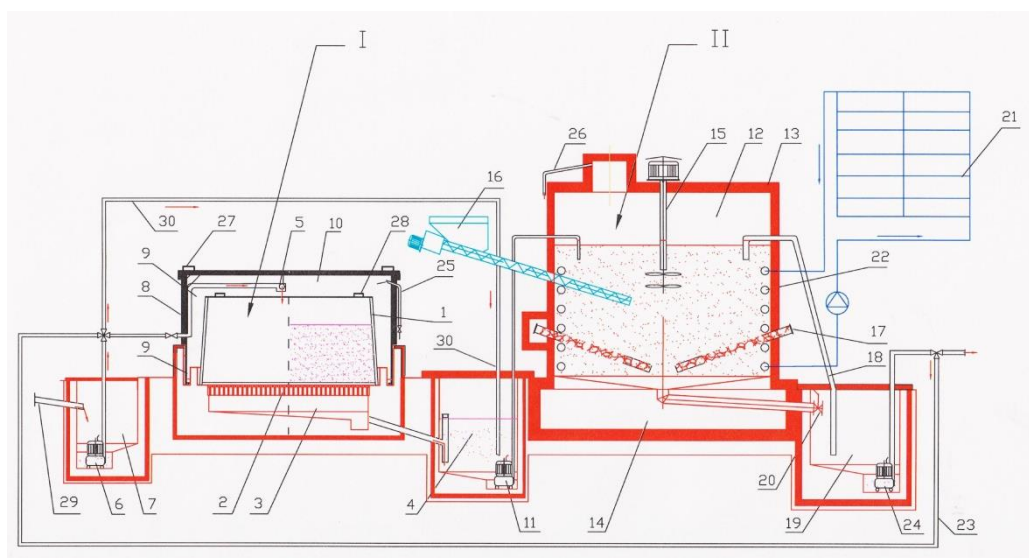
Przykładowe rozwiązania patentowe instalacji dla instalacji biogazowych

Przedstawiono propozycje rozwiązań do pozyskania biogazu z substratów o zawartości suchej masy powyżej 15%. Stosując metodę wypłukiwania z substratów takich jak obornik masy organicznej. Do płukania obornika jest stosowana gnojówka stanowiąca substrat odprowadzany wstępnie do zbiornika w oborze lub chlewni budynków przystosowanych do chowu ściółkowego zwierząt. Przedstawione rozwiązania stanowią przedmiot wynalazków przyznanych lub w trakcie rozpatrywania wniosków.

Instalacja biogazowa do substratów powyżej 20% suchej masy (Urządzenie do wytwarzania biogazu z odchodów zwierząt chowanych na ściółce)

Patent nr 224455 z dnia 09.11.2011 r., uzyskany 13.06.2016 r.

Rozwiązanie polega na wytworzeniu biogazu ze stałych odchodów gromadzonych na płycie obornikowej, w „oborze głębokiej” i przepłukiwanie ich w komorze fermentacyjnej gnojowicą lub wodą gnojową podczas fermentacji metanowej [ROMANIUK I IN. 2011a]. Biogazownia według algorytmu procesu technologicznego składa się z dwóch komór fermentacyjnych oraz zbiornika wstępnego i pofermentacyjnego oraz niezbędnych urządzeń towarzyszących według schematu przedstawionego na poniższym rysunku.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 3.1. Instalacja biogazowa do fermentacji metanowej substratów powyżej 20% SM
I – kosz nasypowy na obornik i odpadki stałe, II – główna komora fermentacyjna, 1 – pojemnik wewnętrzny w kształcie ostrosłupa ściętego, 2 – ruszt, 3 – kanał na odciek masy organicznej, 4 – zbiornik, 5 – zraszcz, 6 – pompa ciśnieniowa, 7 – zbiornik, do którego dopływa gnojówka, 8 – zewnętrzny pojemnik w kształcie prostopadłościanu z termiczną izolacją, 9 – pierścień cieczowy, 10 – hermetyczna komora, 11 – pompa, 12 – komora fermentacyjna, 13 – termiczny płaszcz, 14 – termicznie zaizolowana ława fundamentowa, 15 – mieszadło śmigłowe, 16 – ślimakowy przenośnik – dozownik, 17 – rurowe perforowane pojemniki z granulkami keramzytowymi, 18 – syfon przelewowy masy pofermentacyjnej, 19 – zbiornik, 20 – zawór spustowy osadu, 21 – kolektor słoneczny, 22 – rurowy wymiennik ciepła, 23 – termicznie izolowany rurociąg, 24 – pompa, 25 – rura doprowadzająca gnojowicę, 26 – gazowy rurociąg, 27 – gazowy rurociąg, 28 – uchwyt, 29 – uchwyt, 30 – zawór czterodrożny, 31 – rura transportująca świeżą gnojowicę do zbiornika

Rozwiązania komory hermetycznej instalacji biogazowej do stałych substratów (Urządzenie do wytwarzania biogazu ze stałych odpadów rolniczych, zwłaszcza obornika)

Patent nr 218837 z dnia 12.08.2011 r., uzyskany 19.03.2015 r.

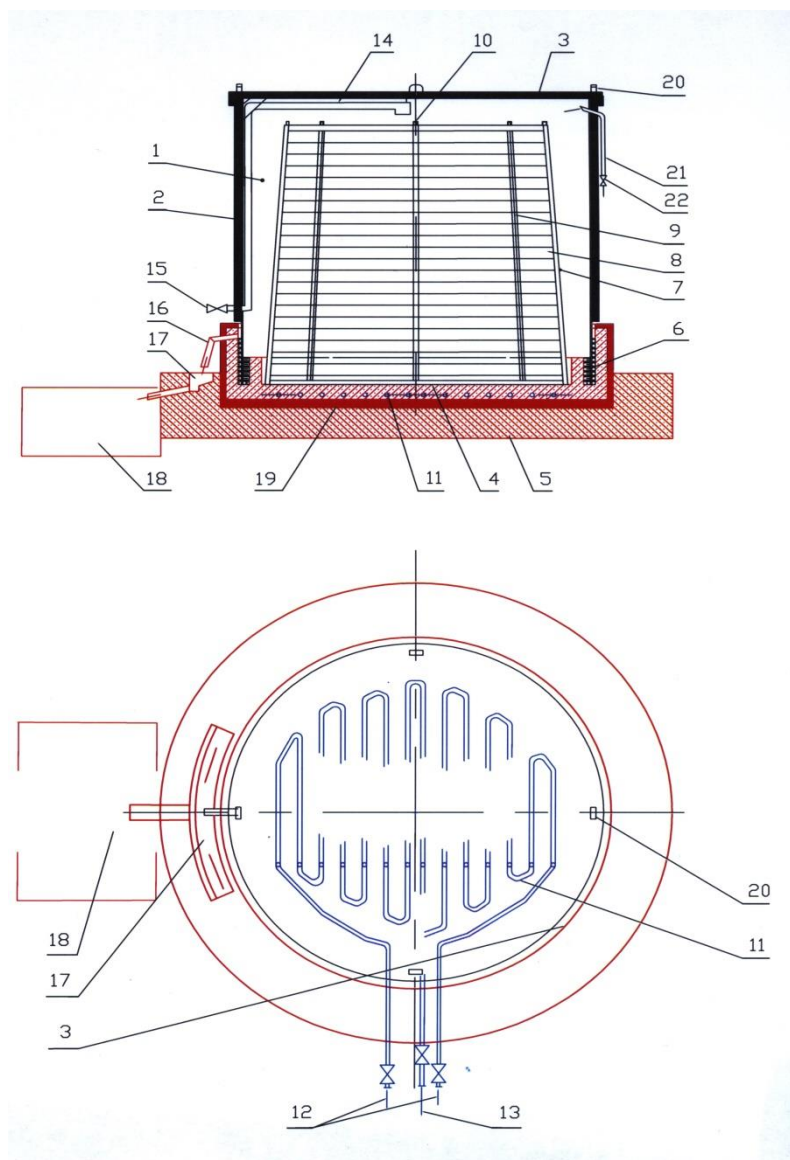
Schemat urządzenia według patentu nr 218837 do wytwarzania biogazu może być jednym z rozwiązań modelowych biogazowni dostosowanych do warunków gospodarstwa rolnego i elementów infrastruktury w nim występujących [ROMANIUK I IN. 2011b].

Pole dostępu do komory fermentacyjnej podczas załadunku i rozładunku wsadu jest ograniczone ze względu na jednostronne zawiasowe otwieranie i zamykanie komory. Istnieje potrzeba budowy fermentacyjnej komory umożliwiającej sprawny załadunek i rozładunek masy fermentacyjnej.

Głównym zespołem urządzenia (instalacji) do wytworzenia biogazu z nawozów naturalnych z dodatkiem roślin energetycznych lub odpadów organicznych jest komora (gnojownia) hermetyczna stanowiąca przedmiot patentu nr 218837. Istotą tego wynalazku jest konstrukcja urządzenia (komory gnojowej) do wytwarzania biogazu ze stałych odpadów rolniczych, zwłaszcza obornika, mająca termiczną fermentacyjną komorę z podgrzewaczem, wyposażoną w zraszacz, odpływ nadmiaru gnojowej cieczy i odpływ biogazu, charakteryzująca się tym, że fermentacyjna komora utworzona jest ze ścianowego termicznego pierścienia z przytwierdzoną do niego górną pokrywą, natomiast spodnia część termicznego pierścienia jest hermetycznie osadzona w cieczowym pierścieniu ukształtowanym w dolnej pokrywie na której jest osadzony pojemnik będący we wnętrzu fermentacyjnej komory, przy czym pojemnik ma postać ściętego ostrosłupa otwartego na spodzie i górze, mającego ażurowe boczne ścianki. Wymienione ścianki utworzone są z pochyłych nośnych słupów połączonych płytkami. w górnej części pojemnika i do komorowej górnej pokrywy przytwierdzone są nośne uchwyty. Urządzenie zapewnia sprawny załadunek fermentacyjnego wsadu, proces fermentacji i rozładunek wykorzystanego wsadu. Konstrukcja fermentacyjnej komory wyposażonej w uchwyty, osadzonej w hermetycznym kanale zapewnia szczelność i możliwość jej unoszenia oraz opuszczania w zależności od potrzeb załadunku i rozładunku fermentacyjnego wsadu do pojemnika. Pojemnik z ażurowymi ściankami usytuowany we wnętrzu komory fermentacyjnej umożliwia skuteczne wykorzystanie umieszczonego w nim wsadu z wykorzystaniem zraszacza i grzałki w zależności od potrzeb fermentacji, a także umożliwia poprzez uchwyty unoszenie pojemnika i rozładunek wykorzystanego wsadu z dna

fermentacyjnej komory. Skuteczne opróżnianie składającego się ze stałych cząsteczek wsadu z pojemnika zapewniają jego pochyłe ażurowe ścianki.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony na przykładzie wykonania na poniższym rysunku na którym przedstawia urządzenie w przekroju wzdłużnym i w widoku z góry.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 3.2. Przekrój koncepcyjny komory fermentacyjnej przystosowanej do pozyskania biogazu

1 – komora fermentacyjna, 2 – termiczny ściankowy pierścień, 3 – górna pokrywa, 4 – spodnia pokrywa, 5 – fundamentowa ława, 6 – cieczowy pierścień, 7 – pojemnik, 8 – pochyłe nośne słupy, 9 – płytki, 10 – nośne uchwyty, 11 – rurkowa nagrzewnica, 12 – doprowadzające zawory, 13 – odpływowy zawór, 14 – zraszacz, 15 – zawór, 16 – odpływowy otwór, 17 – odpływowa rynna, 18 – zbiornik, 19 – termiczna izolacja, 20 – nośne uchwyty, 21 – odpływowy biogazowy przewód, 22 – zawór

Rozwiązanie technologiczne stanowiska do badań pozyskania biogazu z substratów powyżej 12-procentowej zawartości suchej masy, wg projektu wynalazku (Stanowisko badawcze do produkcji biogazu)

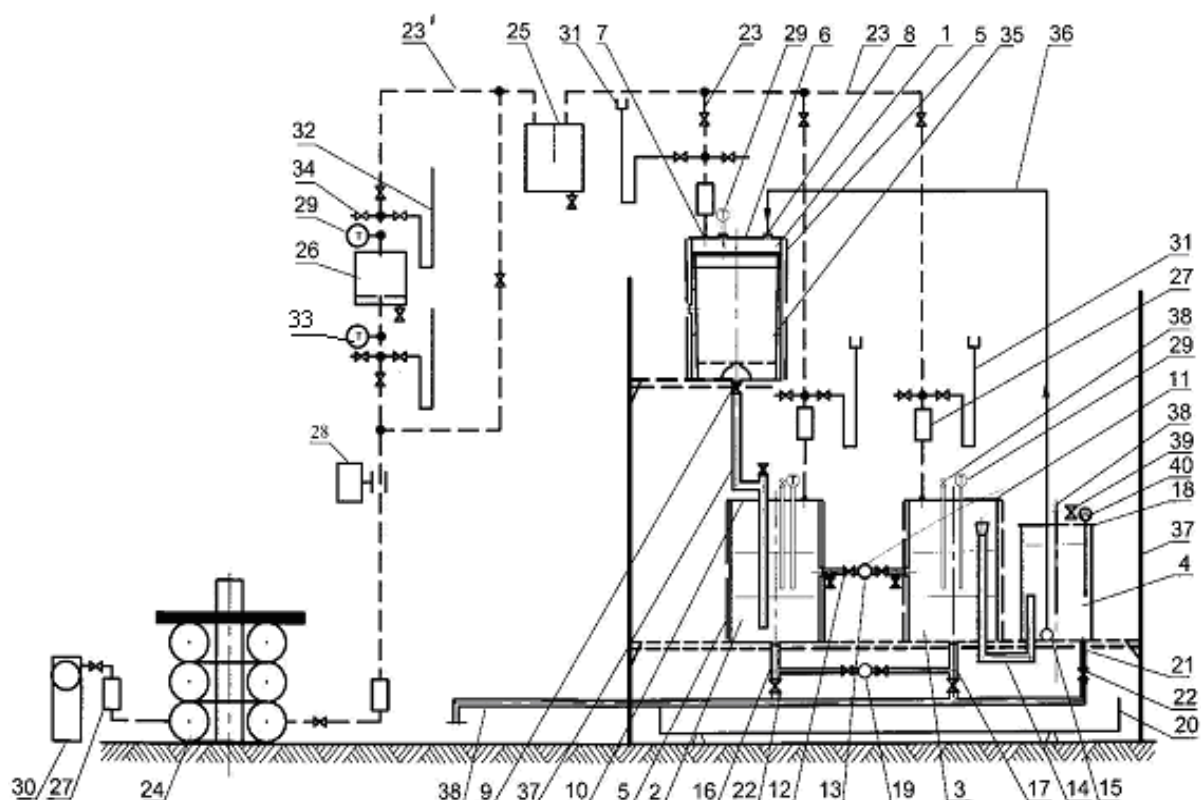
Patent nr 232200 z dnia 11.12.2013 r., uzyskano patent 25.01.2019 r.

Zgodnie z rozwiązaniem projektu zgłoszonego wynalazku [ROMANIUK I IN. 2013] jest konstrukcja urządzenia, które w warunkach laboratoryjnych umożliwi sprawdzenie poszczególnych elementów ciągu technologicznego decydujących o procesie fermentacji oraz pozwoli na przeprowadzenie badań w zakresie fermentacji substratów, określenie ich charakterystyki fizycznej i chemicznej, a w dalszej kolejności umożliwi określenie charakterystyk procesu fermentacyjnego, jakości i ilości powstałego biogazu oraz jakości pozostałości pofermentacyjnych.

Wynalazek ten rozwiązuje zagadnienie budowy stanowiska badawczego do produkcji biogazu, głównie z substratu w postaci mieszaniny obornika i odpadów organicznych oraz masy roślinnej.

Stanowisko badawcze, zgodnie z rozwiązaniem przedstawionym na rysunku, ma zbiornik fermentacji substratu 1, współpracujący ze zbiornikiem wstępnej fermentacji 2, ten zaś ze zbiornikiem końcowej fermentacji 3.

Zbiornik fermentacji substratu, zbiornik fermentacji wstępnej oraz zbiornik fermentacji końcowej są wyposażone w izolacyjną warstwę ochronną 5 podgrzewaną płaszczem grzewczym 4. Wytworzony w tych zbiornikach biogaz jest transportowany z tych zbiorników przewodami 23 do magistrali 23' połączonej ze zbiornikiem biogazu 24, a następnie do agregatu kogeneracyjnego 30. w trakcie transportowania do zbiornika 24 biogaz jest poddawany odwadnianiu w odwadniaczu 25 i odsiarczaniu w odsiarczalniku 26.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 3.3. Schemat technologiczno-funkcjonalny stanowiska badawczego pozyskania biogazu ze stałych substratów

1 – zbiornik w kształcie walca przeznaczony do fermentacji i przepłukiwania substratu stałego znajdującego się w ażurowym koszu, 2 – zbiornik w kształcie walca przeznaczony do wstępnej fermentacji wypłukanej masy organicznej, 3 – zbiornik w kształcie walca przeznaczony do fermentacji końcowej płynnej masy organicznej, 4 – zbiornik przelewowy do magazynowania cieczy, przepłukującej substrat stały, znajdujący się w ażurowym koszu, 5 – termiczna izolacja zewnętrzna z płaszczem grzewczym i termostatem, dotycząca zbiorników nr 1, 2, 3, 6 – pokrywa zbiornika nr 1 z króćcami przyłączeniowymi (montażowymi), 7 – króciec doprowadzający biogaz do przewodu gazowego nr 23, 8 – króciec odprowadzający wypłukaną masę organiczną (ciecz) z rurociągu nr 36, 9 – zawór odcinający zbiorniki nr 1 od nr 2 podczas załadunku kosza nr 35 nowym substratem, 10 – pokrywa zbiornika nr 2 z króćcami przyłączeniowymi (montażowymi), 11 – pokrywa zbiornika nr 3 z króćcami przyłączeniowymi (montażowymi), 12 – przewody rurowe z zaworami i pompą nr 13 łączące zbiorniki nr 2 i 3, 13 – pompa mieszająca I, 14 – lej syfonowy, łączący zbiorniki nr 3 i 4, utrzymujący odpowiednie ciśnienie gazu w komorach, 15 – pompa ssąco – tłocząca podłączona do rurociągu nr 36, 16 – rurociąg spustowo –

mieszający wychodzący z zbiornika nr 2 i połączony z pompą nr 19, 17 – rurociąg spustowo – mieszający wychodzący z zbiornika nr 3 i połączony z pompą nr 19, 18 – pokrywa zbiornika nr 4 z króćcami przyłączeniowymi (montażowymi), 19 – pompa mieszająca II, 20 – wanna zabezpieczająca przed wypływem i rozbryzgiem cieczy, 21 – rura spustowa zbiornika nr 4, 22 – zawory spustowe płynnej masy organicznej (cieczy) z zbiorników nr 2, 3, 4, 23 – przewód odprowadzający biogaz z zbiorników fermentacyjnych nr 1, 2, 3, 4, 24 – zbiornik biogazu, 25 – odwadniacz biogazu, 26 – odsiarczalnik biogazu, 27 – przerywacz płomienia, 28 – licznik biogazu, 29 – termometry do kontroli temperatury wsadu i wypłukanej masy organicznej (cieczy), 30 – agregat kogeneracyjny, 31 – zawory bezpieczeństwa w instalacji biogazowej do utrzymania odpowiedniego ciśnienia biogazu w instalacji biogazu, 32 – wskaźniki ciśnienia i przepływu biogazu w odsiarczalni wykonanej z rurki w kształcie „U”, 33 – termometry potrzebne do utrzymania odpowiedniej temperatury masy odsiarczającej podczas jej regeneracji, 34 – zawory do pobierania próbek biogazu w poszczególnych etapach produkcji i odsiarczania, 35 – ażurowy kosz na substrat stały do wypłukiwania masy organicznej, 36 – rurociąg do transportu wypłukanej masy organicznej ze zbiornika nr 4 do nr 1, 37 – regał, 38 – króćce zakończone zaworami do pobierania próbek z komór, 39 – króciec wlewowy zakończony zaworem i umieszczony w pokrywie nr 18 zbiornika nr 4, 40 – wskaźnik poziomu cieczy umieszczony w pokrywie nr 18 zbiornika nr 4

Zbiornik do magazynowania biogazu wykonany z elastycznych cylindrycznych pierścieni

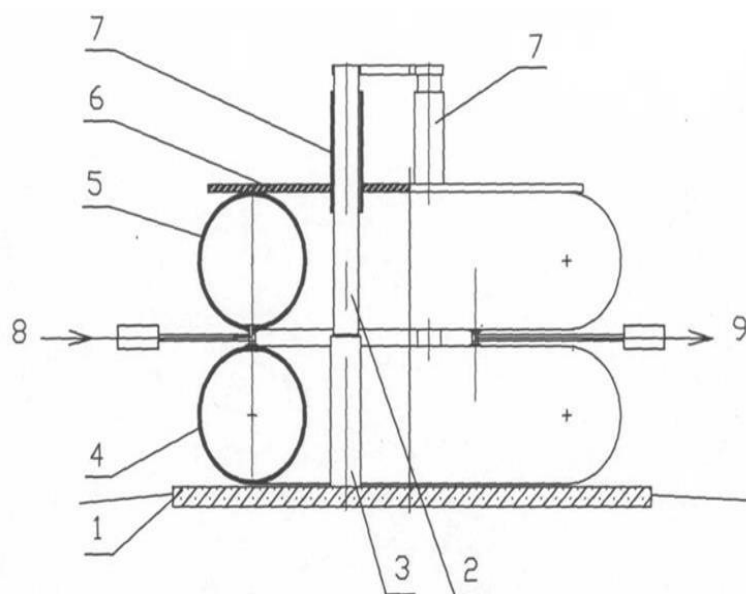
Wzór użytkowy uzyskany 24.08.2012 r.

Biogaz wytwarzany w instalacjach w gospodarstwach rolnych jest przesyłany do zbiorników, w których jest przechowywany pod stałym ciśnieniem i dostarczany do agregatu prądotwórczego lub urządzeń domowych. Znane są zbiorniki gazu tzw. mokre, zbudowane z cylindrycznego zbiornika o dwóch ściankach, między którymi jest płyn. w zbiorniku, między jego ściankami, osadzony jest ruchomy dzwon zbiornikowy. Szczelność zbiornika zapewnia płyn znajdujący się między ściankami zbiornika. Inne znane zbiorniki są zbudowane z tkaniny elastycznej w kształcie walca lub prostopadłościanu, ulokowane w obudowie o prostopadłych ściankach i dwuspadowym dachu. Znane są także zbiorniki w kształcie kuli lub walca o elastycznych ściankach dociskanych w celu zapewnienia stałego ciśnienia płytą obciążeniową.

Istnieje potrzeba stosowania w budowanych instalacjach zbiorników stosunkowo prostych w budowie i sprawnych w eksploatacji. Istotą wzoru użytkowego jest konstrukcja zbiornika do przechowywania biogazu pod stałym ciśnieniem, dostarczanego z gospodarstwa rolnego, przeznaczonego do zasilania zwłaszcza urządzeń domowych. Konstrukcja ta ma elastyczny zbiornik dociskany od góry płytą, wyposażony w zawory gazowe: doprowadzający, odprowadzający i bezpieczeństwa.

Ma również podłogową podstawę z trzema wyposażonymi w dystansowe tuleje pionowymi przewodnicami, na które są nałożone dwa gumowe zbiorniki pierścieniowe – dolny i górny, na którym jest usadowiona dociskowa płyta z przytwierdzonymi do niej prowadzącymi tulejami. Tuleje są nałożone suwliwie na pionowe przewodnice, których górne końcówki są połączone wiązadłem. Pierścienie zbiornikowe są ze sobą połączone przepływowo i z dopływowo-odpływową instalacją trzema trójnikami, którymi są dopływowy trójnik, odpływowy trójnik i kontrolno-po-miarowy trójnik, usytuowanymi między ściankami pierścieni zbiornikowych. Zbiornik ma stosunkowo prostą budowę i jest łatwy w obsłudze. Docisnięcie zbiornikowych pierścieni od góry dociskową płytą opuszczaną na przewodnicach do poziomu górnych końcówek dystansowych tulei, z jednoczesną obserwacją manometru podłączonego do rurociągu z kontrolno-pomiarowym trójnikiem, umożliwia utrzymanie właściwego, stałego ciśnienia, pod którym biogaz jest podawany do odbiorników urządzeń domowych. w okresach, kiedy biogaz nie jest przesyłany do zbiornika z biogazowni, co może powodować zmniejszenie ciśnienia, mogące odciąć podawanie gazu do odbiorników przez zadziałanie zaworu odcinającego, podłączanego rurociągiem z odpływowym trójnikiem, dociskowa płyta może być dodatkowo dociążona obciążnikiem w celu zwiększenia niewystarczającego ciśnienia.

Koncepcję rozwiązania, stanowiącego projekt wzoru użytkowego przedstawiono na poniższym rysunku, z tym, że prototyp zbiornika biogazu został wykonany z trzech cylindrycznych pierścieni (dętek), a na rysunku pokazano dwa pierścienie.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 3.4. Schemat zbiornika biogazu z elastycznych pierścieni (gumowych) możliwych do zastosowania w biogazowniach laboratoryjnych lub małych biogazowniach
 1 – podstawa, 2 – prowadnica, 3 – stopa, 4 – pierścień cylindryczny (elastyczny) – dolny, 5 – pierścień cylindryczny (elastyczny) – górny, 6 – płyta dociskowa górna, 7 – tuleja prowadnicy, 8 – wejście biogazu, 9 – wyjście biogazu



Źródło: archiwum ITP.

Fot. 3.1. Prototyp zbiornika biogazu z elastycznych pierścieni

Urządzenie do odseparowywania i magazynowania stałej masy z gnojowicy (zwłaszcza przefermentowanej)

Patent nr 225111 z dnia 23.12.2014.r., uzyskany 23.03.2017 r.

Rozwiązanie technologiczno-konstrukcyjne, zgodnie z wynalazkiem jest opracowanie budowy urządzenia umożliwiającego sprawny rozładunek odseparowanej masy stałej gnojowicy i jej magazynowanie w silosie komorowym dla potrzeb dosuszania do wilgotności o wartości umożliwiającej dalsze wykorzystywanie wysuszonej masy [ROMANIUK I IN. 2014].

Istotę tego wynalazku stanowi konstrukcja urządzenia umożliwiającego równomierne rozkładanie w silosie odseparowanych, stałych części gnojowicy, transportowanych z zasypowego kosza do ślimakowego przenośnika, a następnie do silosu. w realizacji wynalazku, z uwagi na znaczne rozmiary silosu chodzi o zapewnienie możliwości usypywania odseparowanej masy stałej na różnych odległościach w mniej więcej równe kopce o równych wysokościach, oddalone od siebie na odpowiednie odległości, tak aby cała przestrzeń silosu została równomiernie wypełniona. Kolejnym etapem realizacji rozwiązania jest poddawanie zgromadzonej w silosie stałej masy gnojowicy suszeniu, aż do uzyskania wilgotności umożliwiającej wykorzystanie zgromadzonej masy do produkcji kompostu lub jako ściółkę dla zwierząt hodowlanych.

Urządzenie do odseparowywania i magazynowania suchej masy z gnojowicy, zgodnie z wynalazkiem jest zaopatrzone w ślimakowy przenośnik, zamontowany w rurowej obudowie o przekroju pierścieniowym, która z jednej strony jest zakończona zasypowym koszem, natomiast po przeciwnej stronie ma przymocowany silnik z motoreduktorem. Obudowa ślimakowego przenośnika jest przymocowana do wspornika o zarysie ceowym, zamontowanym przesuwnie na szynie, wspartej obiema końcami na podłużnych ścianach silosu. Przesuw ślimakowego przenośnika w poprzek komory silosu jest prowadzony za pomocą wciągarki. w dolnej części obudowy ślimakowego przenośnika są wykonane wysypowe otwory o zarysie prostokąta, zaopatrzone w wysypowe pokrywy, połączone z obudową ślimakowego przenośnika za pomocą zawiasów. Wysypowe pokrywy zapinane są zapinaczami. Pokrywy w stanie otwarcia są utrzymywane za pomocą przymocowanych do nich cięgien.

W dnie komory silosu, pośrodku, równolegle do wzdłużnych ścian jest wykonany wentylacyjny kanał, od którego rozchodzą się na boki poprzeczne, wentylacyjne kanały. Wentylacyjne kanały są zakryte rusztami. Prowadzą one powietrze, dostarczane do wzdłużnego kanału przez wentylator zamontowany w przedniej części silosu.

Przedmiot wynalazku został objaśniony w przykładzie wykonania, na załączonym rysunku, na którym pierwszy rysunek – pokazuje urządzenie do odseparowywania i magazynowania stałej masy z gnojowicy w przekroju wzdłużnym, a drugi rysunek – uwidacznia urządzenie w widoku z góry.

Urządzenie do odseparowywania i magazynowania stałej masy z gnojowicy, zgodnie z wynalazkiem jest wyposażone w ślimakowy przenośnik 1, zamontowany w rurowej obudowie 2 o przekroju pierścieniowym. Rurowa obudowa 2 z jednej strony jest zakończona zasypowym koszem 3, a po przeciwnej stronie ma przymocowany silnik z motoreduktorem 4. Rurowa obudowa 2 ślimakowego przenośnika 1 jest na stałe przymocowana do wspornika 5, który w przekroju poprzecznym ma zarys ceowy. Wspornik 5 jest osadzony suwliwie na szynie 6 wykonanej z kształtownika o przekroju prostokątnym, przymocowanej do podłużnej ściany 7 silosu. Szyna 6 umożliwia przesuwanie ślimakowego przenośnika 1 w poprzek komory 8 silosu, od jednej wzdłużnej ściany ku drugiej za pomocą wciągarki 9. Odseparowana od cieczy stała masa gnojowicy w separatorze 10 poprzez rynnę 11 jest transportowana grawitacyjnie do zasypowego kosza 3, skąd jest pobierana przez ślimakowy przenośnik 1. w dolnej części rurowej obudowy 2 ślimakowego przenośnika 1 są wykonane wysypowe otwory 12. Wysypowe otwory 12 w widoku z góry mają zarys prostokąta i są zaopatrzone w wysypowe pokrywy 13, połączone z rurową obudową 2 za pomocą zawiasów 14. Wysypowe pokrywy 13 są zamykane za pomocą przymocowanych do nich zapinaczy 15. Utrzymywania wysypowych pokryw 13 w stanie otwarcia umożliwiają cięgna 16.

Po zapełnieniu części komory 8 silosu odseparowaną stałą masą, ślimakowy przenośnik 1 wraz z rurową obudową 2 i przymocowanym do niej od spodu wspornikiem 5, po szynie 6 jest przesuwany ręcznie przy pomocy wciągarki 9 do niewypełnionej części silosu, która kolejno jest wypełniana stałą masą z odseparowanej gnojowicy.

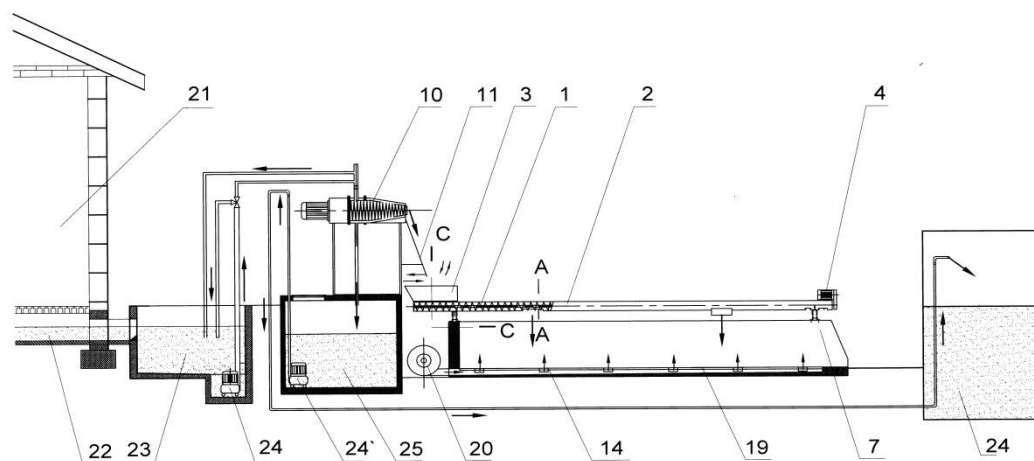
W dnie 17 komory 8 silosu jest wykonany wentylacyjny wzdłużny kanał 18 i dochodzące do niego po bokach poprzeczne wentylacyjne kanały 18'. Kanały te są nakryte rusztem szerokim 19 i wąskim 19'. Do wzdłużnego wentylacyjnego kanału 18 i do poprzecznych wentylacyjnych kanałów 18' jest dostarczane powietrze przez wentylator 20 zainstalowany w przedniej części urządzenia.

Gnojowica z obiektu inwentarskiego 21 jest podawana w sposób ciągły spływowym kanałem 22 do pośredniego zbiornika 23, skąd za pomocą wirowej pompy 24 jest przesyłana do separatora 10, w którym następuje oddzielenie części stałych gnojowicy od cieczy. Ciecz grawitacyjnie spływa do zbiornika 25, skąd za pomocą pompy 24' jest podawana do magazynującego zbiornika 26 w celu dalszego rolniczego wykorzystania. Części stałe

gnojowicy, oddzielone od cieczy w separatorze 10 są podawane grawitacyjnie za pomocą rynny 11 do zasypowego kosza 3, a następnie do ślimakowego przenośnika 1, za pomocą którego są transportowane do komory 8 silosu i gromadzone w kopcach jeden obok drugiego, ściśle do siebie przylegających, tak aby szczelnie wypełnić całą przestrzeń w komorze 8 silosu. Wysypywanie części stałych gnojowicy ze ślimakowego przenośnika 1 na poszczególne kopce, rozmieszczone wzdłuż komory dokonuje się za pomocą otwieranych kolejno wysypowych otworów 12 z wysypowymi pokrywami 13. Po usypaniu kopców ze stałej masy wzdłuż ślimakowego przenośnika 1, dokonuje się ręcznego przesunięcia ślimakowego przenośnika 1 wraz z rurową obudową 2 w następne położenie na pomocą wciągarki 9, zapewniając dokładne wypełnienie komory 8 silosu.

Po całkowitym wypełnieniu komory 8 silosu uruchamia się wentylator 20, tłoczący powietrze do kanałów wentylacyjnych, wzdłużnego 18 i poprzecznych 18'. Tłoczone powietrze osusza stałą masę, która po osiągnięciu odpowiedniej wilgotności może być wykorzystywana do produkcji kompostu lub na ściólkę dla zwierząt.

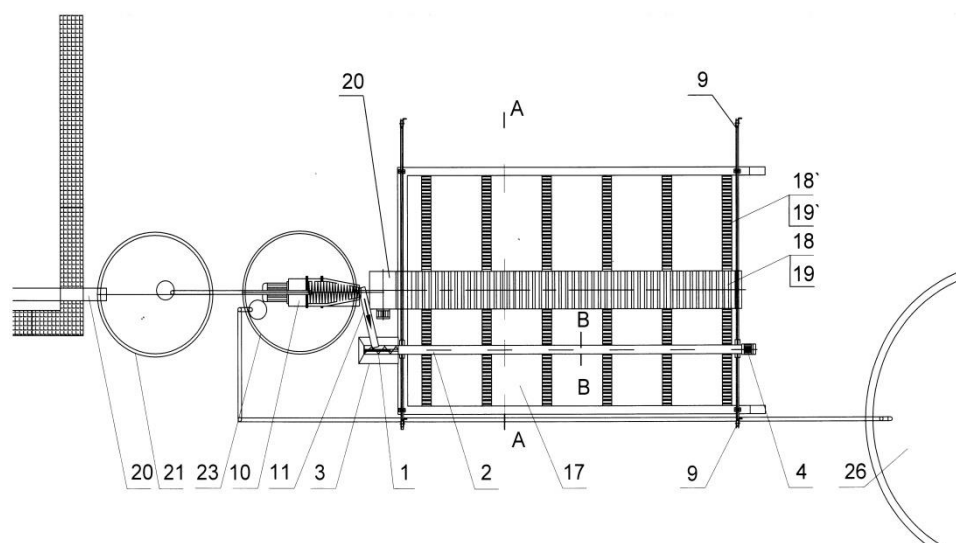
Wynalazek rozwiązuje zagadnienie konstrukcji urządzenia do odseparowywania i magazynowania stałej masy z gnojowicy.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 3.5. Schemat technologiczno-funkcyjny separacji gnojowicy świeżej lub przefermentowanej umożliwiający magazynowanie masy przez okres powyżej 1 miesiąca - przekrój wzdłużny

1 – ślimakowy przenośnik, 2 – rurowa obudowa, 3 – zasypowy kosz, 4 – silnik z motoreduktorem, 5 – wspornik, 6 – szyna, 7 – ściana silosu, 8 – komora silosu, 9 – wciągarka, 10 – separator, 11 – rynna, 12 – wysypowe otwory, 13 – wysypowe pokrywy, 14 – zawiasy, 15 – zapinacze, 16 – cięgna, 17 – dno komory, 18 – wzdłużny kanał, 18' – poprzeczne kanały wentylacyjne, 19 – szeroki ruszt, 19' – wąski ruszt, 20 – wentylator, 21 – obiekt inwentarski, 22 – kanał spływowy, 23 – zbiornik, 24 – pompa wirowa, 24' – pompa, 25 – zbiornik



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 3.6. Widok z góry stanowiska do separacji gnojowicy

1 – ślimakowy przenośnik, 2 – rurowa obudowa, 3 – zasypowy kosz, 4 – silnik z motoreduktorem, 9 – wciągarka, 10 – separator, 11 – rynna, 17 – dno komory, 18 – wzdłużny kanał, 18' – poprzeczne kanały wentylacyjne, 19 – szeroki ruszt, 19' – wąski ruszt, 20 – wentylator, 21 – obiekt inwentarski, 23 – zbiornik, 26 – zbiornik magazynujący

Sposób wytwarzania biogazu i zespół urządzeń do realizacji tego sposobu z nawozu naturalnego powyżej 20% suchej masy

Zgłoszenie patentowe nr P.421062 z dnia 30.03.2017 r.

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania biogazu i zespół urządzeń do realizacji tego sposobu, znajdujący zastosowanie głównie w gospodarstwach rolnych, umożliwiający wytwarzanie gazu z obornika dla zaspokojenia własnych potrzeb inwentarskich [ROMANIUK I IN. 2017].

Z opisu polskiego wynalazku, chronionego patentem nr 224455, znane jest urządzenie do wytwarzania biogazu z odchodów zwierząt hodowanych na ściółce. Urządzenie to jest wyposażone w komorę fermentacyjną mającą śmigłowe mieszadło oraz wymiennik ciepła, połączony z ślimakowym dozownikiem, a także z perforowanymi, rurowymi pojemnikami. Wyflukująco-fermentacyjna komora zawiera zewnętrzny pojemnik w postaci prostopadłościanu, w którym jest umiejscowiony wewnętrzny pojemnik. Ma on postać ściętego ostrosłupa i jest połączony przewodem z międzykomorowym zbiornikiem. Jest on wyposażony w pompę, której rurowy przewód tłoczny jest połączony z fermentacyjną komorą. Górna część tej komory jest połączona za pomocą syfonu z recyrkulującym zbiornikiem, zaopatrzonym w pompę doprowadzającą ciecz izolowanym rurociągiem do zraszacza, zainstalowanego w górnej części wyflukująco-fermentacyjnej komory. Na izolowanym rurociągu jest trójdożny zawór, odprowadzający nadmiar cieczy do zraszaczowego zbiornika.

Z wydawnictwa Wyższej Szkoły Agrobiznesu z siedzibą w Łomży z 2015 r., znana jest monografia pt „Analiza potrzeb techniczno-technologicznych oraz propozycje rozwiązań w produkcji biogazu w gospodarstwach rodzinnych i farmerskich”. Opisuje ona szczegóły działania instalacji biogazowej jednak bez kompleksowego powiązania z cyklem produkcji obornika i jego zagospodarowania na potrzeby ekologicznej produkcji roślinnej i zwierzęcej. Celem rozwiązania, zgodnie z wynalazkiem jest opracowanie sposobu wytwarzania biogazu z obornika i konstrukcja zespołu urządzeń do realizacji tego sposobu, z uwzględnieniem takiego procesu przetwarzania obornika, aby po obróbce oprócz gazu uzyskiwać substrat stały, nadający się do ponownego użytkowania jako ściółka lub jako surowiec na kompost oraz substrat płynny do stosowania jako naturalny nawóz płynny do zasilania upraw roślinnych.

W realizacji wynalazku chodzi o zagospodarowanie naturalnego nawozu w postaci obornika z zachowaniem zasad pozytywnego oddziaływania na środowisko naturalne, bez zanieczyszczania wód gruntowych co dotychczas często miało miejsce. Jednocześnie chodzi o zaspakajanie potrzeb na energię w produkcji inwentarskiej we własnym zakresie.

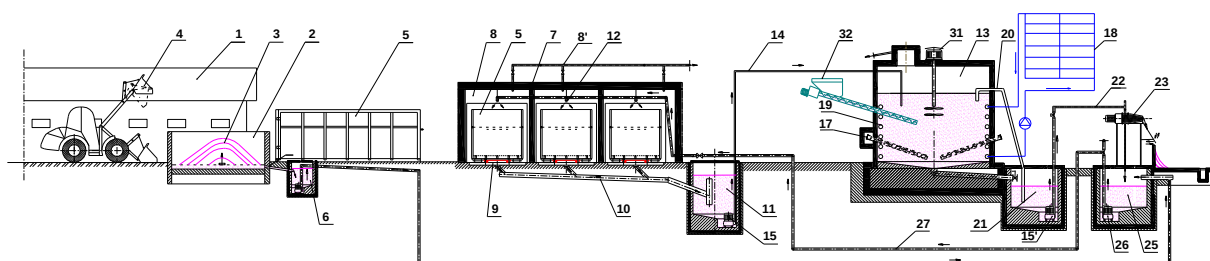
Istotę wynalazku stanowi sposób wytwarzania biogazu. Sposób ten polega na tym, że zmagazynowany w gnojowni obornik ładuje się za pomocą ładowarki do kontenera, po czym wypełniony obornikiem kontener umieszcza się w wyflukująco-silosowej, zamykanej hermetycznie komorze, a odciekającą z obornika gnojową ciecz, zwaną organiczną frakcją gromadzi się w zbiorniku odciekania tej frakcji. Płynną frakcję organiczną przepompowuje się do fermentacyjnej komory i podgrzewa się, okresowo mieszając i uzupełniając tak aby zachować stały poziom frakcji organiczne. Proces fermentacji pobudza się i intensyfikuje

poprzez zmagazynowanie w fermentacyjnej komorze bakterii metanowych oraz poprzez dodawanie substratu roślinnego z roślin energetycznych za pomocą ślimakowego przenośnika. Jest to na ogół rozdrobniona masa zielona kukurydzy bądź traw. Wytworzony w wyniku fermentacji biogaz poddaje się odwodnieniu i odsiarczeniu, po czym przesyła się do kogeneracyjnego agregatu, przetwarzającego ten biogaz na energię ciepłą i elektryczną. Niezbędnym elementem wyposażenia fermentacyjnej komory biogazowni jest kolektor słoneczny, zasilający grzałki zamontowane wewnątrz tej komory.

Nadmiar ciepłego substratu, niewykorzystany do wypłukiwania obornika jest kierowany do magazynującego zbiornika, a następnie wykorzystywany do zasilania upraw roślinnych.

Wytworzony biogaz z fermentacyjnej komory i z silosowo-wypłukującej komory po odwodnieniu i odsiarczeniu przesyła się rurociągiem do kogeneracyjnego agregatu produkującego z tego gazu energię ciepłą i elektryczną.

Wypłukany gnojową cieczą obornik, znajdujący się w kontenerach, przemieszcza się na pryzmę i zabezpiecza przed opadami. Resztki cieczy z obornika są odprowadzane do wstępnego zbiornika. Przedmiot wynalazku został objaśniony w przykładzie wykonania na załączonym rysunku.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 3.7. Układ technologiczny zespołów do pozyskania biogazu z obornika i substratów powyżej 20% SM (suchej masy)

- 1 – budynek inwentarski, 2 – gnojownia, 3 – obornik, 4 – ładowarka, 5 – kontener, 6 – zbiornik na gnojówkę, 7 – zestaw komór hermetycznych dla kontenerów, 8 – rurociąg gazowy, 9 – odpływ frakcji cieplej organicznej, 10 – rurociąg odprowadzający frakcję ciepłą organiczną, 11 – zbiornik frakcji organicznej cieplej, 12 – zraszacze, 13 – komora fermentacyjna (biogazownia), 14 – przewód (rurociąg) zasilający ciepłą frakcją organiczną, 15 – pompa, 17 – pojemnik na keramzyt z bakteriami metanowymi, 18 – kolektor słoneczny, 19 – wymiennik ciepła, 20 – rurociąg odpływowy przefermentowanego substratu, 21 – mieszadło; 22 – rurociąg zasilający separator, 23 – separator, 24 – płyta dla odseparowanej

masy stałej, 25 – zbiornik na ciecz odseparowanego substratu przefermentowanego, 26 – rurociąg zasilający zraszacz, 27 – zawór sterujący „I”, 28 – zawór sterujący „II” do głównego zbiornika magazynującego, 29 – rurociąg podający ciecz po procesie technologicznym do zbiornika magazynującego, 31 – mieszadło, 32 – przenośnik ślimakowy zasilający masą energetyczną komorę biogazową, 35 – rurociąg do transportu gnojówki

Układ technologiczno-konstrukcyjny do transportu i dystrybucji niewielkich ilości biogazu

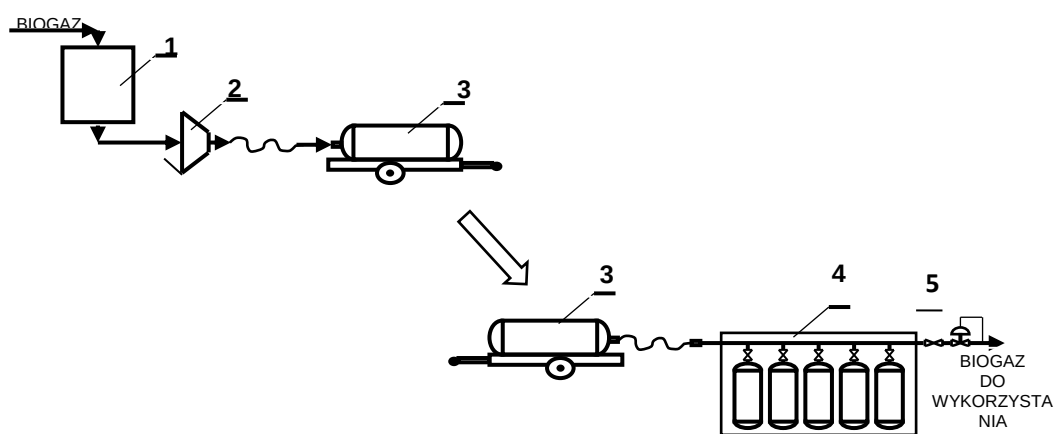
Patent nr 232201 z dnia 13.06.2017 r., uzyskano 24.01.2019 r.

Przedmiotem wynalazku jest układ do transportu i dystrybucji niewielkich ilości biogazu, przeznaczony zwłaszcza dla lokalnych odbiorców [ROMANIUK I IN. 2017].

Transport gazów od źródła do miejsca wykorzystania odbywa się zwykle rurociągami w postaci sprężonej. w przypadkach gdy budowa rurociągu jest nieefektywna ekonomicznie lub niemożliwa na przykład ze względów geograficznych, transport gazów może odbywać się odpowiednimi zbiornikami w postaci skroplonej lub gazowej pod wysokim ciśnieniem. Transport sprężonego gazu może odbywać się okazjonalnie w niewielkich dedykowanych butlach wysokociśnieniowych lub w ramach specjalnych systemów transportowych. Znane systemy transportowe dotyczą transportu gazu ziemnego. Znany z polskiego opisu patentowego nr PL 182179 sposób i układ do transportowania sprężonego gazu ziemnego jest przeznaczony dla dużych ilości gazu, a środkiem transportu są statki i/lub barki wyposażone w zbiorniki ciśnieniowe w postaci odpowiednich wiązek butli. z kolei z opisu patentowego USA nr US 4139019 jest znany system transportu gazu ziemnego z miejsca wydobywania do miejsca podłączenia do sieci rurociągowej obejmujący wstępne osuszanie, sprężanie gazu oraz załadunek i transport sprężonego gazu w wiązkach butli na pojeździe samochodowym. Brak natomiast jest rozwiązań technicznych dotyczących transportu sprężonego biogazu, zwłaszcza w niewielkich ilościach. Biogaz jest gazem uzyskanym w procesie fermentacji metanowej biomasy, z reguły z odpadowych surowców rolniczych, ale również ze składowisk odpadów. Skład surowego biogazu waha się w szerokich granicach, w zależności od surowca oraz technologii fermentacji i na ogół składa się z 55-75% v/v metanu, 25-45% v/v ditlenku węgla, 1-5% v/v wodoru, 0 - 0,3% v/v azotu, 0,1-0,5% v/v tlenu oraz 0,1-3,0% v/v siarkowodoru. Gaz ten jest nasycony parą wodną a ponadto może zawierać szereg innych zanieczyszczeń takich jak amoniak, tlenek węgla, lotne siloksany, a nawet porwane z fermentatora krople cieczy i zanieczyszczeń mechanicznych. Biogaz jest wytwarzany

w bardzo rozproszonym układzie i w niewielkich ilościach, co komplikuje jego wykorzystanie i niejednokrotnie jest niezbędny transport biogazu do miejsca jego wykorzystania.

Istotę wynalazku stanowi układ do transportu niewielkich ilości biogazu składający się z węzła sprężania oraz pojemnika wysokociśnieniowego umieszczonego na platformie jezdnej, z którego gaz jest przekazywany do zespołu magazynowania i rozprężania znajdującego się w miejscu wykorzystania biogazu, przy czym na wlocie biogazu, przed węzłem sprężania, jest umieszczony moduł oczyszczania surowego biogazu, który usuwa co najmniej zanieczyszczenia mechaniczne i zawieszone krople cieczy, parę wodną do poziomu punktu rosy w warunkach po sprężeniu, a także siarkowodór i siloksany. Zwykle dla niewielkich ilości biogazu stosowane jest oczyszczanie adsorpcyjne. Korzystnie na platformie jezdnej są posadowione dwa połączone rozłącznie pojemniki wysokociśnieniowe.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 3.8. Schemat technologiczno-funkcyjny do sprężania, transportu i dystrybucji biogazu
1 - moduł, 2 - węzeł, 3 - pojemnik wysokociśnieniowy; 4 - zespół magazynowania i rozprężania, 5 - zawór redukcyjny

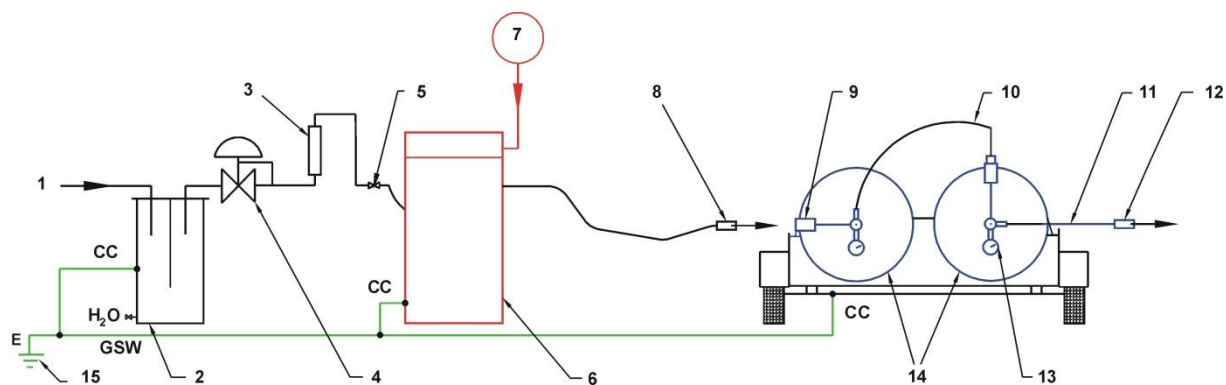
Przedmiot wynalazku został pokazany w przykładzie wykonania na rysunku, który przedstawia schematycznie układ do transportu niewielkich ilości biogazu. Surowy biogaz jest dostarczany do modułu 1 oczyszczania, w którym do oczyszczania jest stosowany adsorber wypełniony zeolitem typu 3A. Następnie oczyszczony biogaz jest przekazywany do węzła sprężania 2, gdzie przy pomocy sprężarki tłokowej uzyskuje ciśnienie 25 mPa, a następnie za pomocą elastycznego węża jest wtłaczany do pojemnika 3 wysokociśnieniowego pojemności 140 dm³ umieszczonego na platformie jezdnej, przy czym korzystnie można zastosować dwa pojemniki 3 połączone w sposób rozłączny. Przyczepa

z pojemnikami 3 wysokociśnieniowymi jest transportowana do miejsca wykorzystywania biogazu, gdzie za pomocą elastycznego węża pojemniki 3 wysokociśnieniowe są podłączane do modułu 4 magazynowania i rozprężania. Biogaz z pojemników 3 jest przetłaczany do modułu 4, skąd przez zawór redukcyjny 5 jest kierowany do wykorzystania.

Układ ten został zastosowany w Jaworzu, Zakładu Doświadczalnego Instytutu Zootechniki PIB w Grodźcu Śląskim im. prof. Mieczysława Czai.

Projekt instalacji i wykonanie prototypu wykonano w ramach programu BIOSTRATEG 1/269056/5/NCBR/2015 z dnia 11.08.2015 przez zespół pracowników Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego we współpracy z firmą NGV Autogas Sp. z o.o. Koncepcja wyżej wymienionego układu (rys. 3.8) składa się z następujących zespołów technologicznych: moduł do oczyszczania biogazu podawanego ze zbiornika biogazu, sprężarka, pojemniki (butle wysokociśnieniowe) do magazynowania sprężonego biogazu, umieszczone na przyczepie transportowej, stacja rozprężania i pobierania biogazu na potrzeby energetyczne produkcji zwierzęcej, zawór redukcyjny pozwalający na transport biogazu do zasilania odbiorników energetycznych.

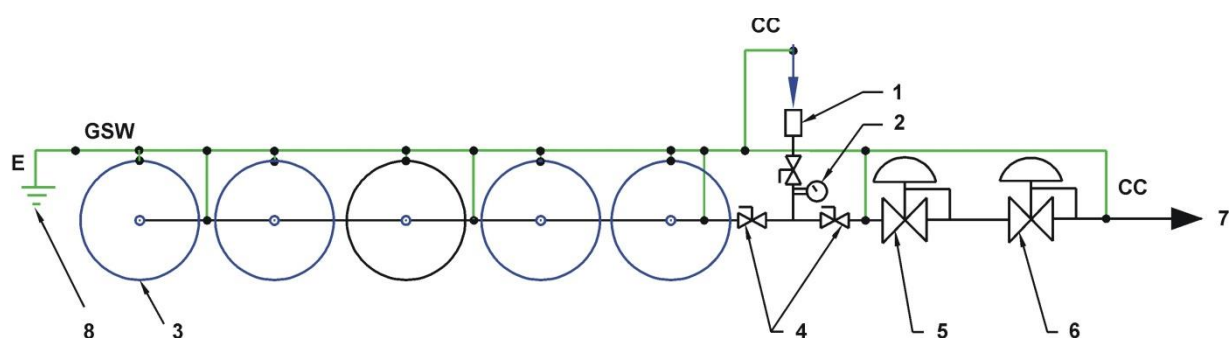
Szczegółowe schematy zespołów stacji tankujących butle i transportujących biogaz oraz instalacji rozładunku sprężonego biogazu przy budynkach inwentarskich przedstawiono na rysunku 3.9 i rysunku 3.10.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 3.9. Schemat ideowy instalacji do sprężania i transportu biogazu – układ stacji tankującej oraz układ butli transportowych do 400 m³ (zgodne z przepisami ADR): 1 – sieć biogazu (p = 1,1 bar); 2 – odwadniacz; 3 – zbiornik buforowy; 4 – reduktor 1,1 bar/ 2 kPa; 5 – zawór odcinający; 6 – sprężarka MJ05 (max moc 2,5 kW, 3. faz.); 7 – zasilanie (3L + PEN); 8 – szybkozłączka nakładana na króciec do tankowania; 9 – króciec do tankowania; 10 – wąż ciśnieniowy elastyczny; 11 – wąż ciśnieniowy elastyczny; 12 – szybkozłączka do tankowania

i odbioru biogazu; 13 – manometr; 14 – butle umieszczone w konstrukcji mocującej do transportu na przyczepie; 15 – uziemienie; CC – przewody wyrównawcze; GSW – główna szyna wyrównawcza; E – przewód uziemiający



Źródło: opracowanie własne.

Rys.3.10. Schemat zespołu instalacji przy budynku inwentarskim do rozładunku biogazu:
 1 – króciec do tankowania z przyczepy; 2 – manometr; 3 – butle stacjonarne o pojemności 140 litrów H₂O (140 m³ x 5 sztuk = 700 m³ gazu) umieszczone przy budynku inwentarskim; 4 – zawory odcinające (ręczne); 5 – reduktor 250 bar / 2 bar; 6 – reduktor 2 bar / 2 kPa; 7 – do odbioru biogazu; 8 – uziemienie; E – przewód uziemiający; GSW – główna szyna wyrównawcza; CC – przewody wyrównawcze

Widok stacji tankującej i sprężania biogazu pokazano na rysunku 3.11 z krótką charakterystyką techniczną sprężarki.



Źródło: archiwum ITP.

Rys.3.11. Widok instalacji gazowej na stanowisku sprężania gazu. Sprężarka gazu o max poborze mocy 2,5 kW i wydajności znamionowej 5 m³/h (w temp. 15°C i 200 barów, przy ciśnieniu gazu na wlocie 0,1 bara)

Widok podłączonych butli wraz z reduktorem do zasilania odbiorników biogazu przedstawiono na fotografii 3.2.



Źródło: archiwum ITP.

Fot. 3.2. Widok podłączenia butli do zasilania biogazem

Przyczepę transportową z załadowanymi butlami z biogazem pokazano na fotografii 3.3.



Fot. 3.3. Widok przyczepy transportowej z butlami z biometanem wraz z ich zabezpieczeniem na przyczepie

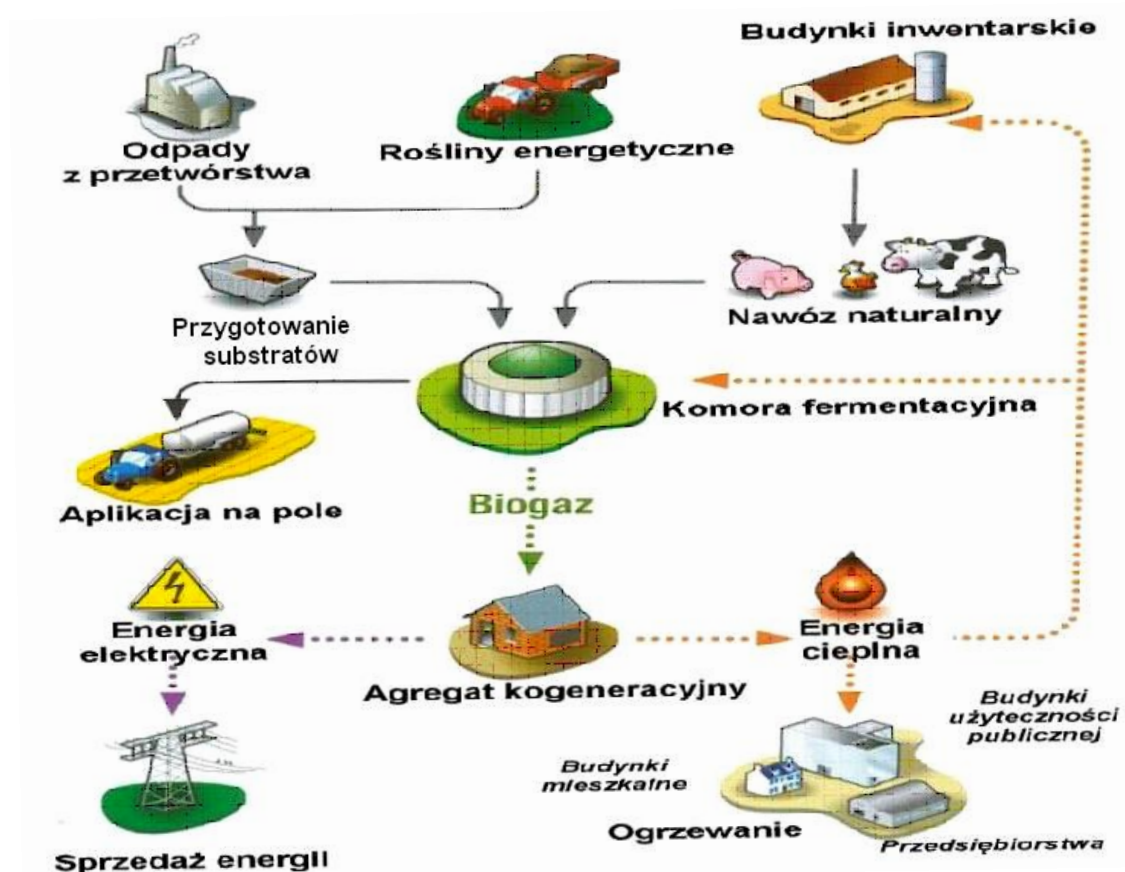
Przedstawione przykładowe rozwiązania patentowe mają charakter innowacyjny i pozwalają na pozyskanie biogazu i jego transport w gospodarstwach farmerskich i rodzinnych. Są to technologie umożliwiające postęp w zakresie wytwarzania energii niekonwencjonalnej w warunkach wiejskich i jej dystrybucję oraz pozyskania nawozu naturalnego przystosowanego do produkcji ekologicznej.

f. Właściwości i zagospodarowanie pofermentu

Oprócz biogazu, produktem powstającym w biogazowniach, jest substancja pofermentacyjna. Substancja pofermentacyjna (nazywana też pulpą pofermentacyjną, osadem pofermentacyjnym, produktem pofermentacyjnym lub po prostu pofermentem) jest drugim po biogazie produktem procesu fermentacji metanowej.

Już na etapie planowania biogazowni należy mieć na uwadze powstawanie pozostałości pofermentacyjnej i sposób jej zagospodarowania. Przeprowadzone badania wykazują, że masa przefermentowana ma większą wartość nawozową niż nawóz naturalny np. obornik czy gnojowica. Nie wydzielają się ponadto nieprzyjemne zapachy ani podczas magazynowania w zbiornikach ani podczas rozdeszczowywania na polu. Omawiane pozostałości nie przyciągają też much, ani nie są siedliskiem chwastów. Wynik nawożenia przefermentowaną masą jest taki sam, jak nawożenie kompostem. Nie bez znaczenia jest dodatkowy aspekt higienizacyjny fermentacji metanowej, radykalnie likwidujący mikroorganizmy chorobotwórcze.

Pozostałość pofermentacyjna jest wynikiem przebiegu procesu fermentacji beztlenowej, której głównym celem jest uzyskanie produktu w postaci metanu zmieszanego z innymi gazami (rys. 2.10), który po oczyszczeniu powinien być wykorzystany do produkcji energii elektrycznej i (lub) ciepłej. Jeżeli do procesu biogazowania użyte zostały wyłącznie produkty roślinne oraz/lub zwierzęce to pozostałości pofermentacyjne użyte na własnym gruncie do celów nawożenia nie są odpadem (w rozumieniu przepisów o odpadach). Pozostałości takie mogą być także wprowadzane do obrotu jako nawóz organiczny lub substancja poprawiająca właściwości gleby, o ile spełnią wymogi przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu.



Źródło: ROMANIUK, BISKUPSKA [2014].

Rys. 1.1. Podstawowe elementy procesu fermentacji metanowej

Pozostałość pofermentacyjna stanowi produkt wymagający dalszych działań w zakresie zagospodarowania. Rodzaj pozostałości pofermentacyjnej jest uzależniona od substratu, jaki został użyty do przebiegu samego procesu fermentacji metanowej.

W praktyce przyjmuje się zazwyczaj, że roczna produkcja pofermentu wynosi około 85% masy używanych substratów.

W procesie fermentacji metanowej z fermentowanej materii usuwana jest duża część węgla (C), wodoru (H) i tlenu (O). w uproszczeniu można powiedzieć, że pierwiastki te budują powstający biogaz: metan (CH_4) i dwutlenek węgla (CO_2), a do pofermentu przechodzą m.in. azot (N), fosfor (P) i potas (K) – czyli podstawowe składniki odżywcze dla roślin. To właśnie wysoka zawartość tych składników w pofermencie decyduje o jego wartości nawozowej. Należy też zaznaczyć, że w wyniku fermentacji związki azotu występują głównie w formie azotu amonowego bezpośrednio dostępnego dla roślin.

Masy pofermentacyjne pochodzące z biogazowni rolniczych można podzielić na dwa rodzaje: masy rolnicze i masy rolniczo-przemysłowe. Do typowo rolniczych można zaliczyć masy,

w których skład wchodzi przefermentowana gnojowica czy obornik, ewentualnie z dodatkiem roślinnym. Do masy rolniczo-przemysłowych zaliczamy masy z dodatkiem pochodzącym z przetwórstwa rolno-spożywczego, np. gliceryną, odpadami poubojowymi czy serwatką.

-gw

Zalety stosowania pofermentu:

- stosowanie pofermentu może poprawić bilans materii organicznej w glebie, co w konsekwencji przeniesie się na poprawę żyzności gleby;
- rośliny nawożone pofermentem zwiększają swoje plony, co poprawia wynik ekonomiczny prowadzonej działalności rolniczej;
- zmniejsza się zapotrzebowanie na nawozy mineralne, co zmniejsza koszty produkcji roślinnej i jednocześnie zmniejsza nakłady ponoszone na produkcję roślinną prowadzoną w gospodarstwie;
- poprawia jakość gleby przez zwiększenie ich zasobności w dostępne formy składników pokarmowych, zwiększenie pojemności sorpcyjnej gleb, poprawę struktury jonowej kompleksu sorpcyjnego polegającej na zmniejszeniu udziału kationów o charakterze kwaśnym (tj. wodoru i glinu) i zwiększeniu udziału kationów o charakterze zasadowym (tj. potasu, magnezu i wapnia), co ogranicza zakwaszanie gleby;
- zwiększeniu ulega zawartość materii organicznej – efekty te są szczególnie widoczne po regularnym stosowaniu pofermentu;
- stosowanie pofermentu nie powoduje zwiększonego gromadzenia metali ciężkich w glebie, niż ma to miejsce w przypadku stosowania saletry amonowej czy świeżej gnojowicy;
- ograniczenie emisji metanu związanej ze składowaniem i stosowaniem nawozów naturalnych;
- możliwość ograniczenia emisji odorów związanej ze składowaniem i stosowaniem nawozów naturalnych;
- stosowanie pofermentu można zaliczyć do rodzaju „odzysku” składników pokarmowych takich jak azot, fosfor czy potas – pierwiastki te zostały wcześniej włączone do obiegu np. z nawozami w produkcji roślinnej i wykorzystywanymi paszami w produkcji zwierzęcej – po procesie fermentacji, dzięki której wytworzono

energię, poferment zawierający azot, fosfor czy potas wraca do gleby, zmniejszając zapotrzebowanie na nawozy mineralne,

- zmniejszenie wydobycia fosforytów, soli potasowych, gazu ziemnego – ochrona zasobów kopalnych,
- zmniejszenie zużycia nawozów mineralnych, zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, która jest związana z ich produkcją, zwłaszcza nawozów azotowych.

Wadą stosowania pofermentu może być jego zbyt duże uwodnienie, które można ograniczyć się poprzez separację i wykorzystanie frakcji ciekłej np. jako cieczy technologicznej do rozcieńczania wsadu do biogazowni, oraz poprzez zagęszczanie pozostałości lub poprzez odparowanie.

Bibliografia

- ABYHAMMAR T. 1996. Sposób i instalacja do obróbki wilgotnego paliwa. Polska. Zgłoszenie patentowe P.181647 z dnia 21.10.1996 r.
- ADAMIAK W. 2005. Możliwości zastosowania mikroorganizmów adaptowanych in vitro do rozkładu wybranych gazowych zanieczyszczeń powietrza, Rozprawa doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- Aria Energies 2012. [online]. [Dostęp 29.06.2012]. Dostępny w Internecie: <http://www.aria-enr.fr/>
- AgriKomp 2011. Quelle est l'installation la mieux adaptee a votre exploitation? [online]. [Dostęp 15.10.2018]. Dostępny w Internecie : <http://agrikomp.de/fr/installations-de-biogaz-/trouvez-votre-installation-.html>
- ARSHADY R. 1993. J. Microencapsul. 10, pag. 413.
- BAKUŁA Z., STACHOWIAK R., WIŚNIEWSKI J., GRANICKA L., BIELECKI J. 2013. Post. Mikrobiol., 52, vol. 3, s. 233.
- BARTELMUS G., SARZYŃSKI R., GAŚCZAK A., JAROSZYŃSKI M., JASCHIK M. 2014. Bioreaktor strużkowy do oczyszczania gazu i sposób oczyszczania gazu. Polska. Zgłoszenie patentowe P.408337 z dnia 26.05.2014 r.
- BIERNAT K., SAMSON-BRĘK I. 2011. Przegląd technologii oczyszczania biogazu do jakości gazu ziemnego. Chemik nr 5/2011, tom 65, s. 435-444.
- BIEŃ J. 2007. Osady ściekowe. Teoria i praktyka, Wyd. Politechnika Częstochowska, s. 312.
- BLÄSS J., SCHULZE H. 1992. Układ z elementami instalacji. Polska. Zgłoszenie patentowe P.170313 z dnia 27.11.1992 r.
- BONIN S. 2008. Agro Przemysł., 6, s. 20.
- BOUCHE M., CHAUSSINAND D. 1992. Decontamination of waste material after biological treatment - where products of earthworm composting are sieved, subjected to magnetic separation stage then washed and aerated. Zgłoszenie patentowe FR2689790A1 z dnia 10.04.1992 r.
- BUDNER Z., MATUS G., DULA J., LACH J., ŁADAK T., WÓJCIK J. 2010. Reaktor barbotażowy. Polska. Zgłoszenie patentowe P.214474 z dnia 12. 04.2010 r.
- BUSCH G., GROßMANN J., SIEBER M., BURKHARDT M. 2009. Water Air Soil Pollut, 9, s. 89.
- CARMAN P.C. 1956. Flow of gases trough porous media, Butterworths Sc. Public., London.

- CEBULA J., LATOCHA L. 2005. Biogazownie rolnicze elementem gospodarczego wykorzystania pozostałości z produkcji rolniczej oraz rozwoju rozproszonej energii odnawialnej. Materiały konferencyjne. Mikołów.
- CHANDRA J., ZHOU G., CHANNOUM M.A. 2005. *Current Drug Targets*, 8, s. 887.
- COLETTI G., TAVERNA E. 1985. Separator for aggregate. Zgłoszenie patentowe EP0228724A2 z dnia 19.12.1985 r.
- CONG XIAO, YUNQIAN MA, DANDAN JI, LIHUA ZANG. 2017. Review of desulfurization process for biogas purification. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 100 012177; doi:10.1088/1755-1315/100/1/012177
- COSTERTON J.W., LEWANDOWSKI Z., DE BEER D., CALDWELL D.E., KORBER D.R., JAMES G. 1994. *Journal of Bacteriology.*, 176, s. 2137.
- COSTERTON J.W., LEWANDOWSKI Z., CALDWELL D.E., KORBER D.R., LAPPIN-SCOTT H.M. 1995. *Annual Review of Microbiology*, 49, s. 711.
- COUGHLIN P.T., LYMAN G.F., MATHUS G. 1997. Self contained cell growth system. USA. Zgłoszenie patentowe US 6107085A.
- CURRIE C.R. 2001. *Annual Review of Microbiology*, 55, s. 357.
- DACH J. 2010. Rynek biogazowni w Polsce – ocena i perspektywy. *Czysta Energia* Nr 5/2010 (105) s. 38–42.
- DAI Q J, YI L I, FANG X J. 2008. Discussion on Correlation between Sulfur in Sludge and Hydrogen Sulfide in Biogas [J]. *China Water & Wastewater*.
- DARCY H. 1856. *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*, Victor Valmont Paris.
- DE4434611A1 1994. Method and device for biological-mechanical treatment of waste. Zgłoszenie patentowe DE4434611A1 z dnia 28.09.1994 r.
- DEMBZYŃSKI R., JANKOWSKI T. 2004. Żywność. *Nauka. Technologia. Jakość*, 41, s. 5.
- DEN BOER E., SZPADT R. 2013. Materiały konferencyjne Politechnika Wrocławska, Biogazownie szansą dla rolnictwa i środowiska, Dolnośląski Ośrodek Doradztwa Rolniczego we Wrocławiu 24 października 2013.
- DGA Energia 2012. [online]. [Dostęp 03.03.2019]. Dostępny w Internecie: <http://www.dga.pl>
- DIASPRO A., SILVANO D., CAVALLERI O., GLIOZZI A. 2002. *Lanmuir.*, 18, s. 5047.
- DING W.K., SHAH N.P. 2009. *J. Food Sci.*, 74, s. 53.
- DIPL R. 1988. Process for energy recovery by refuse degasification. Zgłoszenie patentowe DE3835230A1 z dnia 15.10.1988 r.
- DONLAN R.M. 2002. *Emerging Infectious Diseases.*, 8, s. 136.

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniającą i w następstwie uchylającą dyrektywę 2001/77/WE oraz 2003/30/WE
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej
- EICKHOFF H., SCHÜTTE R. 1999. Kolumna barbotażowa i jej zastosowanie. Polska. Zgłoszenie patentowe P.194793 z dnia 09.09.1999 r.
- ERGUN S. 1952. Fluid flow through packed columns, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, Pennsylvania, Chemical Engineering Progress, 48, 2, s. 89-94.
- FENG L, BING GEN X U, HONG S X I IN. 2003. Advances in desulfurization with wet oxidation process [J]. Modern Chemical Industry.
- FILANOWSKI P., PITUŁA M., RYBICKI CZ. 2013. Sposób oczyszczania biogazu do parametrów gazu przesyłowego oraz instalacja do oczyszczania biogazu. Polska. Zgłoszenie patentowe P.403141 z dnia 13.03.2013 r.
- FORCHHEIMER P. 1901. Wasserbewegung durch Boden. [Water movement through soil]. Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieuer ;5(5), s. 1781-1788.
- FOTYGA R. 2011. Biogazownia z tunelową komorą fermentacyjną i instalacja do wytwarzania i utylizacji biogazu. Polska. Zgłoszenie patentowe P.395186 z dnia 08.06.2011 r.
- FUROWICZ A., BOROŃ-KACZMARSKA A., FERLAS M., CZERNOMYSY-FUROWICZ D., POBUCEWICZ A. 2010. Medycyna Weterynaryjna., 66, vol. 7, s. 444.
- FUSKA S. 2012. Urządzenie ruchome do suchej fermentacji beztlenowej-bioreaktor. Polska. Zgłoszenie patentowe P.400901 z dnia 24.09.2012 r.
- GŁASZCZKA A., WARDAL W.J., ROMANIUK W., DOMASIEWICZ T. 2010. Biogazownie rolnicze. Warszawa, Multico Oficyna Wydawnicza, ss. 80.
- GŁODEK E. 2010. Raport z projektu unijnego POKL.08.02.01-16-028/09 Źródła Energii Opolszczyzny – promocja, technologie wsparcie, wdrożenie. Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Inżynierii Materiałowej, Procesowej i Środowiska, Opole.
- GRZEGORZEWICZ J., GRUSZECKI Z., SCIERZYŃSKI H., CIEŚLAK R., SMAGA M., JURKOWSKI A., MATYJA K., PAPUGA W. 1994. Reaktor barbotażowy. Polska. Zgłoszenie patentowe P.174663 z dnia 21.04.1994 r.
- HAGEN B.M. 1997. Sposób i instalacja do obróbki odpadów lub odpadów resztkowych. Polska. Zgłoszenie patentowe P.185529 z dnia 10.12.1997 r.

- HOBLE A., STUMPF W., QUASNITSCHKA H., KRIEBEL M. 1996. Sposób i instalacja do uzdatniania gazu ziemnego zawierającego azot. Polska. Zgłoszenie patentowe P.182645 z dnia 14.10.1996 r.
- HOOD P. 1987. Processing waste. Zgłoszenie patentowe GB2208645A z dnia 13.08.1987 r.
- HUNKELER D., PROKOP A., POWERS A., HARALSON M., DI MARI S., WANG T.A. 1997. *Polymers News.*, 22, s. 232.
- INSTYTUT ENERGII ODNAWIALNEJ 2011. Poradnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych [online] [Dostęp 15.10.2018]. Dostępny w Internecie: <http://www.ieo.pl/pl/aktualnosci/40-archiwum/343-qprzewodnik-dla-inwestorow-zainteresowanych-budow-biogazowni-rolniczychq-opracowany-przez-ieo.html>
- JANECKI D., GĄSZCZAK A., BARTELMUS G. 2016. Modelling of the air purification from volatile organic compounds in a trickle-bed bioreactor. *Society of Ecological Chemistry and Engineering, Proceedings of ECOpole*, 10, vol. 2, s. 423, DOI: 10.2429/proc.2016.10(1)043
- JANSEN A.E., FERON P.H.M., HANEMAALIER J.H. I IN. 2002. Apparatus and method for performing membrane gas/liquid absorption at elevated pressure [M]. US.
- JASIŃSKI A., SŁOMSKI R., SZALATA M., LIPIŃSKI D. 2006. *Biotechnologia.*, 72, s. 7.
- JAROSZYK F., BACHORZ W. 2003. Sposób i instalacja do wykorzystania zawartości ciepłej biomasy. Polska. Zgłoszenie patentowe P.199032 z dnia 31.07.2003 r.
- JĘDRCAK A. 2001. *Przegląd Komunalny*, 6.
- JEWELL V.J, CUMMING R.J., RICHARDS B.K. 1992. Energy production from biomass and wastes: present limitation and potential improvements. *Biotechnologies for Pollution control energy*, s. 7-36.
- KARGER-KOCSIS J. 1995. Polypropylene, structure and morphology. Chapman and Hall, Londyn.
- KARŁOWSKI J., KLIBER A., MYCZKO A., GOLIMOWSKA R., MYCZKO R. 2011. Materiały z „IV konferencji naukowej Polskiego Towarzystwa Agronomicznego pt. Agronomia w zrównoważonym rozwoju współczesnego rolnictwa”. Warszawa 5-7 września 2011, s. 104.
- KEPPLINGER L.W., PELZ D., ZANKER G. 1997. Sposób i instalacja do termicznej utylizacji mokrego młota. Polska. Zgłoszenie patentowe P.188043 z dnia 18.11.1997 r.
- KIM B. W., CHANG H. N. 1991. Removal of hydrogen sulfide by *Chlorobium thiosulfatophilum* in immobilized-cell and sulfur-settling free-cell recycle reactors [J]. *Biotechnol Prog*, 1991, 7(6), s. 495-500.

- KOCHAŃSKI J., GIZELBACH L. 2013. Beztlenowy bioreaktor. Polska. Zgłoszenie patentowe P.402683. z dnia 06.02.2013 r.
- KOŁODZIEJCZYK T., MYCZKO R., MYCZKO A. 2011. Ciepłownictwo, Ogrzewanie, Wentylacja 42, vol. 9, s. 360.
- KOŁWZAN B. 2008. Ochrona Środowiska., 30, vol. 4, s. 3.
- KOŁWZAN B., ADAMIAK W., GRABAS K., PAWEŁCZYK A. 2005. Podstawy mikrobiologii w ochronie środowiska. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 17-18.
- KOMAROWSKI L. 2010. Sposób przetwarzania odpadów i instalacja do przetwarzania odpadów. Polska. Zgłoszenie patentowe P.217056 z dnia 20.12.2010 r.
- KONIECZNY R.J., FEDKO M., MYCZKO A., MYCZKO R. 2014. Sposób wyizolowania biomolekuł i frakcji biomolekuł z masy fermentacyjnej i pofermentacyjnej biogazowni oraz instalacja do tego sposobu. Polska. Zgłoszenie patentowe P.407865 z dnia 11.04.2014 r.
- KONIECZNY R., MYCZKO R., MYCZKO A., WAWRZYŃIAK A. 2013. Urządzenie zwiększające ilość uzyskiwanego metanu w reaktorze metanowym biogazowni. Polska. Zgłoszenie patentowe P. 222203 z dnia 31.12.2013 r.
- KOWALCZYK-JUŚKO A. 2013. Biogazownie. Szansą dla rolnictwa i środowiska, (red. A. Grzybek), Wyd. Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Publikacja przygotowana w ramach Planu działania Sekretariatu Centralnego Krajowej Sieci Obszarów Wiejskich na lata 2007-2013.
- KUMANOWSKI K.S., SZEWCZYK K.W., ZAMOJSKA A.M., KUMANOWSKA E.J. 2008. Sposób utylizacji gnojowicy przez fermentację metanową oraz instalacja do utylizacji gnojowicy przez fermentację metanową. Polska. Zgłoszenie patentowe P.386459 z dnia 06.11.2008 r.
- KWAŚNY E., STRZELSKI J., WANDZEL J., WOŁEK K. 1994. Instalacja do oczyszczania gazów przemysłowych. Polska. Zgłoszenie patentowe P.305569 z dnia 21.10.1994 r.
- LANZA R.P., JACKSON R., SULLIVAN A., RINGELING J., MCGRATH C., KUHTREIBER W., CHICK W.L., 1999. Transplant., 67, s. 1105.
- LEWANDOWSKI Z., BOLTZ J.P. 2011. Treatise on Water Science, 4, s. 529.
- LÓPEZ D., VLAMAKIS H., KOLTER R. 2010. Cold Spring Harb. Perspect. Biol., 2, s. 1, DOI: 10.1101/cshperspect.a000398
- MAAS M.F. 1987. Responses of plants to sulfur containing air pollutants (H₂S and SO₂) [J]. University of Groningen, 1987/14(1), s. 61-62.

- MATCZUK M. 2007. Energia z biogazu. Farmer Nr 21 s. 34-35.
- MAZURKIEWICZ J., MAZUR R., KUJAWIAK S., DACH J. 2015. Bioreaktor ze złożem ruchomym, zwłaszcza do rekultywacji silnie zanieczyszczonych akwakultur i małych zbiorników wodnych. Polska. Zgłoszenie patentowe P.412749 z dnia 17.06.2015 r.
- MICHALAK M. 2012. Fermentator gazowy. Polska. Zgłoszenie patentowe P.401726 z dnia 22.11.2012 r.
- MONDS R.D., O'TOOL G.A. 2009. Trends in Microbiology. 17, vol. 2, s.73.
- MORIN J.-X., PEYRELONGUE J.-P. 1998. Instalacja do waloryzacji energetycznej odpadków miejskich i tym podobnych. Polska. Zgłoszenie patentowe P.324478 z dnia 26.01.1998 r.
- MYCZKO A., MYCZKO R., KOŁODZIEJCZYK T., GOLIMOWSKA R., LENARCZYK J., JANAS Z., KLIBER A., KARŁOWSKI J., DOLSKA M. 2011. Podstawowe rodzaje instalacji biogazowych, rozdział w monografii pod redakcją prof. Andrzeja Myczko, pt. Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych, Wyd. ITP, Warszawa-Poznań, Wydanie sfinansowane przez Europejski Fundusz Rolny, 122-129.
- MYCZKO A., MYCZKO R., SZULC R., TUPALSKI L. 2012. Reaktor do metanowej fermentacji gnojowicy. Polska. Zgłoszenie patentowe P.220074 z dnia 04.07.2012 r.
- MYCZKO A., WAŁOWSKI G., ŁASKA-ZIEJA B., ALESZCZYK Ł. 2016. Współczesne zagadnienia produkcji mleka w Polsce z uwzględnieniem wymagań środowiska, (red. K. Węglarzy), Wyd. ZDIZPIB, Grodziec Śląski-Poznań-Warszawa.
- MYCZKO A., KOŁODZIEJCZYK T., ALESZCZYK Ł., MYCZKO R., ŁASKA-ZIEJA B., JĘDRUSIAK-WRZESIŃSKA E., WAŁOWSKI G., SAWIŃSKI R. 2018. Fermentator monosubstratowy do metanowej fermentacji gnojowicy. Polska. Zgłoszenie patentowe P.424291 z dnia 22.01.2018 r.
- MYSZOGRAJ S. 2007. Inżynieria i Ochrona Środowiska, 10, vol. 2, s. 141.
- NAMYŚLAK Ł. 2012. Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i produkcji energii alternatywnej, (red. W. Romaniuka), Wyd. ITP, Warszawa, s. 207.
- OLESIENKIEWICZ A. 2010. Czysta Energia, 5, s. 22.
- ONISZK-POPLAWSKA A., MATYKA M. 2012. Raport końcowy z badania dziedzinowego. „Kompleksowa ocena uwarunkowań w zakresie produkcji biogazu w województwie lubelskim”. Regionalny System Zarządzania Zmianą Gospodarczą.
- PEDROS P.B., DOBIE K.P. 2006. Zanurzony bioreaktor ze złożem biologicznym. Polska. Zgłoszenie patentowe 380196 z dnia 13.07.2006 r.

- PEŁKA J. 2005. Nawalnialnia barbotażowa z przepływem wymuszonym. Polska. Zgłoszenie patentowe P.206588 z dnia 16.05.2005 r.
- PESZKO T. 1991. Instalacja do badań maszyn przepływowych. Polska. Zgłoszenie patentowe P.165336 z dnia 04.02.1991 r.
- PĘCZKOWSKA-MAIK G., MAIK T. 2007. Bioreaktor modułowy oraz sposób higienizacji i kompostowania odpadów w bioreaktorze modułowym, zwłaszcza odpadów o dużym uwodnieniu. Polska. Zgłoszenie patentowe P.208801 z dnia 17.08.2007 r.
- PFEIFFER. [on-line]. [Dostęp 15.04.2018]. Dostępny w Internecie: <http://pfee.de/en/cellroll/>
- PIELESZ A. 2010. Algi i alginy – leczenie, zdrowie i uroda. Wydanie I, Wydawnictwo internetowe e-bookowo.
- PIERALISI G. 2008. Treatment system of sewage sludge and relevant energetic utilization for cogeneration. Zgłoszenie patentowe WO2010010071 z dnia 22.07.2008 r.
- PISULA A., FLOROWSKI T. 2009. Produkcja biogazu z organicznych odpadów przemysłu mięsnego, Przemysł Spożywczy, Wyd. Czasopism i Książek Technicznych SIGMA-NOT, Warszawa, 11, s. 12-16;
- POTHAKAMURY U.R., BARBOSA-CÁNOVAS G.V. 1995. Trends Food Sci. Tech., 6, s. 397.
- PROTOKÓŁ. 2018. Protokół przekazania procesu technologicznego. Dokument wydany przez Laboratorium Badawcze Technologii i Biosystemów Rolniczych, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy.
- REYNELL CH.P.R. 1989. Method for treating solid waste. Zgłoszenie patentowe GB2230004A z dnia 08.04.1989 r.
- RIETH N., DARREDEAU B., LEHMAN J.-Y. 1995. Sposób i instalacja do wytwarzania zmiennych natężeń przepływu co najmniej jednego czystego składnika przez frakcjonowanie mieszaniny gazowej. Polska. Zgłoszenie patentowe P.308286 z dnia 21.04.1995 r.
- RINDELAUB F. 1998. Biologiczno-termiczny sposób obróbki odpadów i instalacja do biologiczno-termicznej obróbki odpadów. Polska. Zgłoszenie patentowe P.192276 z dnia 17.02.1998 r.
- ROBBINS N.F., ROWLEY J., QUINTO M., HASTINGS A.Z., TOWNS B.G., SNODGRASS B.R. 2006. Perfusion bioreactor for culturing cells. Zgłoszenie patentowe WO 2006/033935.
- ROCSON K.N. 1994. Wpływ bentonitu i chlorku żelazawego na zmiany ilościowe i jakościowe w produkcji biogazu z biomasy odpadowej, praca doktorska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław.

- ROMANIUK W., ŁOCHOWSKI B., BOREK K., MAZUR K., WARDAL W.J. 2017. Układ do transportu i dystrybucji niewielkich ilości biogazu. Polska. Patent nr 232201 z dnia 13.03.2017 r.
- ROMANIUK W., ŁOCHOWSKI B., DOMASIEWICZ T., BOREK K., SAVINYKH P., SYSUJEV V., KOSOLAPOV V. 2014. Urządzenie do odseparowywania i magazynowania stałej masy z gnojowicy. Polska. Patent nr 225111, z dnia 23.12.2014 r.
- ROMANIUK W., ŁOCHOWSKI B., BOREK K., MAZUR K. 2017. Sposób wytwarzania biogazu i zespół urządzeń do realizacji tego sposobu. Polska. Zgłoszenie patentowe nr P.421062 z dnia 30.03.2017 r.
- ROMANIUK W., BISKUPSKA K. 2014. Biogazownia rolnicza krok po kroku. Warszawa. Hortpress. ISBN 978-83-61574-58-3 ss. 3-32.
- ROMANIUK W., ŁOCHOWSKI B., BISKUPSKA K., OTROSHKO S.A. 2013. Urządzenie laboratoryjne do produkcji biogazu ze stałych substratów. Polska. patent nr 232200 z dnia 11.12.2013 r.
- ROMANIUK W., GŁASZCZKA A., BISKUPSKA K. 2012. Analiza rozwiązań instalacji biogazowych dla gospodarstw rodzinnych i farmerskich. Inżynieria w rolnictwie, Monografie nr 9, Falenty, wyd. ITP, ss. 94.
- ROMANIUK W., MYCZKO A., ŁOCHOWSKI B., DOMASIEWICZ T., GŁASZCZKA A., BISKUPSKA K., SAVINYKH P.A., OTROSHKO S.A. 2011a. Urządzenie do wytwarzania biogazu z odchodów zwierząt chowanych na ściółce. Polska. Patent nr 224455, zgłoszony 9.11.2011 r.
- ROMANIUK W., ŁOCHOWSKI B., DOMASIEWICZ T., BISKUPSKA K., SAVINYKH P.A., OTROSHKO S.A. 2011b. Urządzenie do wytwarzania biogazu ze stałych odpadów rolniczych, zwłaszcza obornika. Polska. Patent nr 218837 z dnia 12.08.2011 r.
- ROMANIUK W. 2010. Potencjał i możliwości produkcji energii w wyniku fermentacji metanowej substratów rolniczych. W: Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem struktury obszarowej gospodarstw rodzinnych, ochrony środowiska i standardów UE, Falenty ITP ss. 241-250.
- ROMANIUK W. 2005. Ekologiczne systemy gospodarki obornikiem i gnojowicą. Warszawa IBMER ss. 120.
- Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 7 sierpnia 2018 r. w sprawie wymagań dotyczących sposobu obliczania, pomiarów i rejestracji ilości energii elektrycznej lub ciepła wytwarzanych w instalacjach odnawialnego źródła energii (Dz.U. 2018 poz. 1596)
- SCHREZENMEIR J., KIRCHGESSNER J. 1994. Transplant. 57, s. 1308.

- SCHWARZ R.P., ANDERSON W.J., DIMITRIJEVICH S.D. 1997. Multiple chamber diffusion vessel. USA. Zgłoszenie patentowe US 5998202A.
- SEFTON M.V., MAY M.H., LAHOOTI S., BABENSEE J.E. 2000. J. Contr. Release., 65, s. 173.
- SINGH R., PAUL D., JAIN R.K. 2006. Trends in Microbiology, 14, vol. 9, s. 389.
- STACHOWIAK A., NOWAK J., SZTROMWASSER E. 2011. Złoże węgla brunatnego w regionie Legnicy-Ścinawy i technologie ich zagospodarowania [w]: A. Żelaźniewicz, J. Wojewoda, W. Ciezkowski, [red.] – Mezozoik i Kenozoik Dolnego Śląska, WIND, Wrocław.
- STASZEWSKI R., WAGNER-STASZEWSKA T. 1991. Układ regeneracji adsorbentu w instalacji adsorpcyjno-desorpcyjnej. Polska. Zgłoszenie patentowe P.165947 z dnia 09.12.1991 r.
- STRZELECKI T., KOSTECKI S., ŻAK S. 2008. Modelowanie przepływów przez ośrodki porowate [Modelling of flows through porous media]. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław.
- STRZELSKI J., KRAS K., SZWED H., BACH S., Blicharz M. 1993. Sposób i instalacja do kondycjonowania gazów. Polska. Zgłoszenie patentowe P.301048 z dnia 12.11.1993 r.
- SVENSSON O. 1996. Sposób i urządzenie do nawaniania instalacji gazowej. Polska. Zgłoszenie patentowe P.183839 z dnia 21.11.1996 r.
- SZEWCZYK K., ZAMOJSKA-JAROSZEWICZ A. 2011. Sposób jednoczesnego wytwarzania wodoru i biogazu oraz instalacja do jednoczesnego wytwarzania wodoru i biogazu. Polska. Zgłoszenie patentowe P.217057 z dnia 23.03.2011 r.
- SYED M, SOREANU G, FALLETTA P. I IN. 2006. Removal of hydrogen sulfide from gas streams using biological processes--A review [J]. Canadian Biosystems Engineering, 48, s. 1.
- ŚLADOWSKI D. 2008. Bioreaktor. Polska. Zgłoszenie patentowe P.385692 z dnia 17.07.2008 r.
- ULUDAG H., DE VOS P., TRESCO P.A. 2000. Adv. Drug Deliv., 42, s. 29.
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz. U. 2015 poz. 478) z późn. zm.
- WALCZAK J. 2010. Biogazownie rolnicze, Państwowy Instytut Badawczy, Kraków.
- WALUK J. 1973. Laboratorium z mechaniki gruntów. Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- WAŁOWSKI G. 2017a. Interpretation of gas flow mechanisms in anisotropic porous materials in phenomenological terms. International Journal of Current Research, 9, (12), s. 62010-62015.
- WAŁOWSKI G. 2017b. Interpretation of gas permeability of anisotropic structure of skeletal deposit. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 62, (2), s. 122-124.

- WAŁOWSKI G. 2017c. Fenomenologiczne ujęcie hydrodynamiki przepływu gazu przez struktury porowate. *Przemysł chemiczny*, 96 (5), s. 1171–1178.
- WAŁOWSKI G. 2017d. Metody pomiaru oraz oceny gazoprzepuszczalności złożów porowatych. *Przemysł chemiczny*, 96 (7), 1543–1549.
- WAŁOWSKI G. 2017e. Mechanizmy przepływu gazu w strukturach porowatych. *Przemysł chemiczny*, 96 (9), 1948–1951.
- WAŁOWSKI G. 2018a. Ocena hydrodynamiki przepływu wielofazowego w reaktorze monosubstratowym ze złożem adhezyjnym przy zastosowaniu immobilizacji mikroorganizmów metanogennych. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 57, 4, 120-121.
- WAŁOWSKI G. 2018B. Interpretation of the mechanism of biogas flow through an adhesive bed in analogy to gas-permeability for a structural model of a porous material. *International Journal of Current Research* 10, (12), 76225-76228, DOI: <https://doi.org/10.24941/ijcr.33180.12.2018>
- WAŁOWSKI G. 2019. Assessment of coke quality related to of effective permeability coefficient and anisotropy coefficient. *Fuel*, 236, 82–91.
- WAŁOWSKI G., BOREK K., ROMANIUK W., WARDAL W.J. Nowoczesne systemy pozyskania energii – biogazu. Monografia pod redakcją naukową prof. dr hab. inż. Wacława Romaniuka, Warszawa, 2019.
- WAŁOWSKI G., FILIPCZAK G. 2016. Gazoprzepuszczalność materiałów porowatych o anizotropowej strukturze. *Inż. Ap. Chem.*, 55, 6, 245-250.
- Warężak T. 2013. Bioreaktor hydrofitowy do oczyszczania ścieków. Polska. Zgłoszenie patentowe P.405721. z dnia 21.10.2013 r.
- WEILAND P. 2010. *Appl Microbiol Biotechnol*, 85, pag. 849
- WINDSPERGER A. 1991. *Chemie Ingenieur Technik*, 63, nr 1, 80.
- www.hz-inova.com/cms/en/home?page_id=256 [Dostęp 15.04.2018 r.]
- www.ows.be/household_waste/dranco/ [Dostęp 15.04.2018 r.]
- www.valorgainternational.fr/en/mpg3-128079--VALORGA-S-ANAEROBIC-DIGESTION-PROCESS.html [Dostęp 15.04.2018 r.]
- WYSOCKA I. 2014. Reaktor barbotażowy do oczyszczania gazów. Polska. Zgłoszenie patentowe P.408108 z dnia 06.05.2014 r.
- ŻARCZYŃSKI A., ROSIAK K., ANIELAK P., ZIEMIŃSKI K., WOLF W. 2015. Praktyczne metody usuwania siarkowodoru z biogazu. II. Zastosowanie roztworów sorpcyjnych i metod biologicznych. *Acta Innovations*, nr 15/2015, s. 57-71.

Opracowanie: Grzegorz Wałowski