Kurs 40-godzinny: Wytwarzanie biogazu i praca w biogazowni (nauczyciele)

Biogazownia rolnicza - założenia ogólne

Substraty w biogazowni - parametry, ograniczenia

Budowle i urządzenia

Kogeneracja

Poferment - cechy i zagospodarowanie

Prawo i administracja

Fermentacja - podstawy

Rodzaje biogazu ze względu na jego pochodzenie

Biogazownia : konstru kcja

Gospodarowanie biogazu - kogeneracja, oczyszczanie do Biometanu,

przeznaczenie

Wizyta wirtualna w biogazowni

a. Podstawy fermentacji metanowej i źródła biogazu

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 niedogrzania, 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

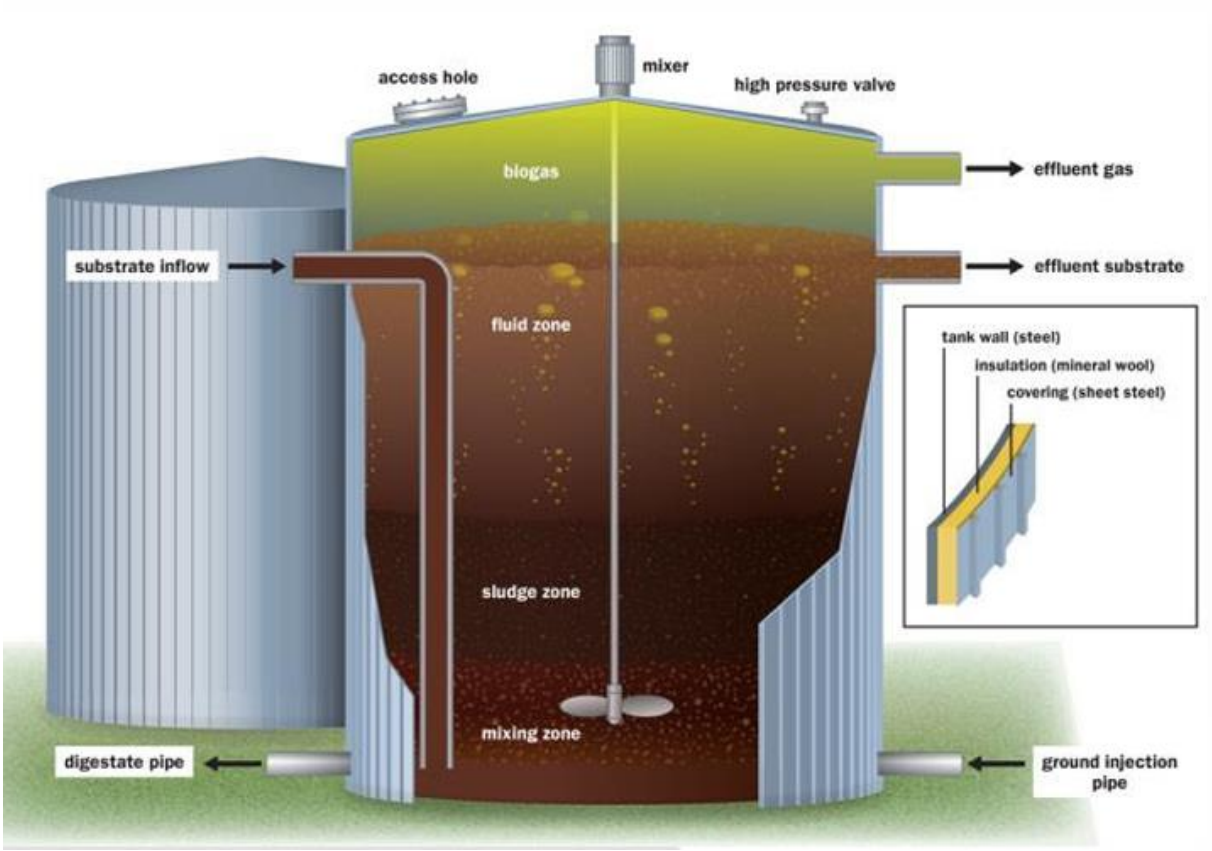
Najmniejsze ślady tlenu są przyczyną niepowodzeń w otrzymaniu czystych hodowli bakterii fermentacji metanowej, które są bezwzględnymi beztlenowcami. Bakterie te w kontakcie z tlenem giną, rozwijają się natomiast bardzo dobrze w atmosferze wodorowej.

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, ze 15% węgla w substracie jest asymilowane przez bakterie. Jeśli jednak w substracie poddawanym 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) Technologia fermentacji osadów ściekowych

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 [Jędrczak, 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;
- bezużyteczna makulatura nadająca się do spalenia 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.

Jędrczak 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/elektrocieplownia-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. m^3 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 m^3 każda. Substraty są doprowadzane do 5-6% suchej masy.

Produkty:

• Biogaz i biometan – wydajność produkcji biogazu to 708 m^3 /h (stan na 2020 r.), zawartość metanu w biogazie: 60%. Biogaz, po oczyszczeniu, jest częściowo wykorzystywany na miejscu na potrzeby oczyszczalni ścieków, a częściowo sprężany i dostarczany 6-kilometrowym rurociągiem obłożonym folią aluminiową (technologia zero-dyfuzyjna) do Parku Wodnego w Tychach, gdzie w elektrociepłowni jest spalany w celu ogrzewania budynku i wody w basenach. • Energia elektryczna – średniomiesięczna produkcja energii przekracza poziom 150% w stosunku do zużycia energii na potrzeby własne; nadmiar energii sprzedawany jest do sieci (ok. 4,5 tys. MWh/rok).

• Energia cieplna – pokrycie 100% zapotrzebowania OŚ. Energia wykorzystywana do ogrzewania WKF do stałej temperatury 38°C oraz budynków OŚ; ogrzewanie budynków i wody w basenach w Parku Wodnym.

• Dwutlenek węgla – wydzielany w procesie oczyszczania biogazu do biometanu i sprzedawany zakładom przemysłowym. Dodatkowe informacje: Uzdatnianie biogazu w Stacji Oczyszczania Biogazu z wykorzystaniem absorberów odsiarczających (zaprojekowanych

przez RCGW, wykorzystujących rudę darniową) oraz ścieków oczyszczonych (technologia firmy T4B EKOTECHNOLOGIE – woda technologiczna jest absorberem CO_2, następnie biogaz jest odwilgacany w skruberze). Wydajność stacji: 1200 m^3 /h.

Literatura:

https://www.giwk.pl/infrastruktura/elementy infrastruktury/elektrocieplownia-biogazowa
Anna Bojanowicz-Bablok Izabela Potapowicz Produkcja biogazu z komunalnych osadów ściekowych Warszawa, 2024

Pozyskanie biogazu metodą konwersji biomasy

Fermentacja metanowa jest procesem biologicznym, w którym bakterie metanowe rozkładają materię organiczną w warunkach beztlenowych, a produktem końcowym tego procesu jest biogaz o składzie CH_4 (50÷75%) i CO_2 (25÷50%) [MYCZKO I IN. 2011]. Proces produkcji biogazu w fermentatorze można podzielić na cztery etapy, w których następuje według kolejności:

1) hydroliza - enzymy wytwarzane przez bakterie hydrolityczne, rozkładają białka, lipidy i węglowodany do aminokwasów, kwasów tłuszczowych o długich łańcuchach i cukrów;
2) zakwaszanie - bakterie kwasotwórcze ze związków powstałych podczas hydrolizy, wytwarzają lotne kwasy tłuszczowe (kwas masłowy, octowy i propionowy) oraz ditlenek węgla, wodór i etanol;
3) acetogeneza - przy udziale bakterii kwasotwórczych powstaje kwas octowy, wodór i ditlenek węgla;
4) metanogeneza - z kwasu octowego i wodoru wytwarzany jest produkt finalny, czyli biogaz.

Biorąc pod uwagę pierwszą z czterech faz fermentacji metanowej, istotna dla procesu biogazownia jest wielkość cząstek fermentowanego substratu. Stwierdzić należy, że im mniejszy jest rozmiar cząstek poddawanych fermentacji metanowej, tym łatwiej przebiega proces hydrolizy, co skutkuje lepszą wydajnością procesu produkcji biogazu, ponieważ bakterie metanowe mają lepszy dostęp do rozdrobnionego substratu.

Różnorodność technik możliwych do zastosowania w doskonaleniu rolniczych instalacji biogazowych (fermentator) powoduje, że ocena wpływu na środowisko naturalne jest bardzo trudna i niejednoznaczna. Wielkość nakładów energetycznych niezbędnych do realizacji procesu, koszty inwestycyjne, koszty eksploatacyjne, sprawność elektryczna zastosowanych układów kogeneracyjnych, stopień i sposób wykorzystania ciepła z kogeneracji będą

decydowały o proekologiczności budowanych i eksploatowanych w gospodarstwach rolnych instalacji [ROMANIUK I IN. 2012].

Immobilizacja mikroorganizmów metanogennych - struktura materiału nośnika

Immobilizacja z łac. „*immobilia*", czyli nieruchomy, polega na częściowym lub całkowitym ograniczeniu swobodnego ruchu drobnoustrojów przy jednoczesnym zapewnieniu im dostępu do składników odżywczych i odpływu produktów przemiany.

Nośnik powinien być nierozpuszczalny w środowisku, w którym drobnoustroje będą unieruchamiane. Ważna jest odporność na degradację chemiczną i mikrobiologiczną. Właściwości chemiczne determinują także możliwości sterylizacji i oczyszczania tzw. higienizacja. Dodatkowo obecność odpowiednich grup funkcyjnych może wpływać na przyleganie komórek bakterii do powierzchni nośnika. Pokrywanie matrycy przez drobnoustroje może zatykać pory i znacząco obniżać jej przepuszczalność. Na przydatność materiału wpływa także jego cena, dostępność, możliwości regeneracji i zastosowania w skali przemysłowej, prostota i parametry biologiczne podczas unieruchamiania.

Struktura porów określana jest przez ich wielkość, rozmieszczenie oraz głębokość, która w nośniku determinuje zasięg interakcji między immobilizowanymi komórkami bakterii a środowiskiem zewnętrznym – obszar wewnątrz bioreaktora. Nośniki porowe, zgodnie z klasyfikacją International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) definiowane są jako mikroporowate (średnica porów niższa niż 2 nm), mezoporowate (średnica między 2 a 50 nm) i makroporowate (średnica powyżej 50 nm). Tylko niewielkie cząsteczki jak np. tlen mogą penetrować materiały mikroporowate.

Wiele z wykorzystywanych materiałów posiada jednak nieregularną strukturę i wielkość porów, a dodatkowo ich właściwości mogą ulegać zmianie w środowisku. Pory powinny umożliwiać swobodny przepływ substancji odżywczych i produktów przemiany, ale nie samych komórek bakterii. Transport substancji wzdłuż matrycy nośnika możliwy jest dzięki gradientowi stężeń [SCHREZENMEIR, KIRCHGESSNER 1994]. Komórki bakterii o większych wymaganiach pokarmowych powinny znajdować się w materiałach o bardzo dobrej przepuszczalności [LANZA I IN. 1999].

Nośnik powinien wykazywać następujące cechy [SMIDSROD, SKJAK-BREK 1990]:

- obojętność w stosunku do zatrzymywanych mikroorganizmów,
- prostota i łagodność unieruchamiania,
- duża zdolność zatrzymywania komórek drobnoustrojów,
- wysoka mechaniczna stabilność,

- obojętność chemiczna,
- duża zdolność dyfuzyjna w stosunku do substratu i produktu,
- możliwość regeneracji i kilkakrotnego użycia,
- łatwa dostępność, korzystność ekonomiczna,
- możliwość zastosowania w skali przemysłowej.

Jako materiał biologiczny stosowany w immobilizacji nadają się odpowiednie szczepy bakterii bądź linie komórkowe, które wydzielają cząstki przez długi okres czasu, bądź są w stanie pełnić określone funkcje przy ciągłym procesie. Można korzystać z linii pierwotnych, stabilnych, allogenicznych, ksenogenicznych.

Przy wyborze odpowiedniego materiału biologicznego należy zwrócić uwagę na jego wymagania pokarmowe, odporność na stres oraz zmienność morfologiczną. Ważne jest upewnienie się czy komórki bakterii, których używamy posiadają przewagę nad eukariotycznymi liniami komórkowymi. Są zazwyczaj tańsze w hodowli, bardziej oporne na stres, mniej wymagające, jeśli chodzi o warunki zewnętrzne, mogą być aktywne przez dłuższy czas. Są także prostszymi modelami do modyfikacji. Genetycznie modyfikowane drobnoustroje, zaprojektowane w celu wydzielania pożądanych czynników mogą stać się przyszłością. Przy pewnego typu procesach niezastąpione mogą także okazać się bakteriofagi. Bardzo ważnym aspektem jest bezpieczeństwo biologiczne. w przypadku organizmów modyfikowanych genetycznie ekspresja genów powinna być regulowana wielopoziomowo, a same szczepy powinny być wysoce stabilne genetycznie [BAKUŁA I IN. 2013].

Metody i techniki immobilizacji

Unieruchamianie drobnoustrojów można sklasyfikować w sposób następujący (tabela 4.1).

Tabela 4.1. Unieruchamianie drobnoustrojów

Metody	na powierzchni nośnika	wewnątrz nośnika	bez nośnika
Techniki	adsorpcja	inkluzja (pułapkowanie)	sieciowanie przestrzenne
	adhezja	kapsułowanie:	flokulacja:
	wiązania kowalencyjne	(i) nano i mikro (kapsułka)	(i) indukowana, (ii) naturalna

	(ii) makro (kapilara)	(samoagregacja)

Źródło: opracowanie własne.

W obrębie metod unieruchamiania na powierzchni nośnika wyróżnia się adsorpcję (proces wiązania się cząsteczek, atomów lub jonów na powierzchni lub granicy faz fizycznych) i adhezję (łączenie się ze sobą powierzchniowych warstw ciał fizycznych lub faz) oraz wiązanie kowalencyjne (rodzaj wiązania chemicznego, którego istotą jest istnienie pary elektronów, które są współdzielone w porównywalnym stopniu przez oba atomy tworzące to wiązanie).

Adsorpcja i adhezja oparte są na wiązaniach jonowych, wodorowych, hydrofobowych, siłach elektrostatycznych, siłach van der Waalsa lub kombinacjach tych sił.

Nośnik (np. celulozę, drewno, szkło porowate, tlenki metali, syntetyczne polimery) wprowadza się do roztworu z materiałem biologicznym i pozostawia na pewien czas, bez mieszania lub z mieszaniem, w celu osadzenia się komórek drobnoustrojów. Skuteczność unieruchamiania zależy od rodzaju matrycy, typu zastosowanych komórek, ich metabolizmu i cech środowiska [BONIN 2008]. Wadą tej metody jest uzyskiwanie stosunkowo niskiego stężenia biomasy na jednostkę objętości bioreaktora.

Wiązanie kowalencyjne polega na utworzeniu wiązań chemicznych takich jak wiązania estrowe czy peptydowe między grupami funkcyjnymi składników osłon komórek bakterii a nośnikiem (siła przyczepu jest tu wyższa niż w przypadku adsorpcji i adhezji). Tytułem przykładu w metodzie tej stosuje się czynnik wiążący (np. aldehyd glutarowy) i nośnik (np. ziemię okrzemkową, szkło porowate, pochodne celulozy, akrylany, skały wulkaniczne, bawełnę) [BONIN 2008].

Aby poprawić efektywność immobilizacji sugeruje się obniżenie siły elektrostatycznego odpychania komórka bakterii – nośnik, bądź nadaje się powierzchni komórki lub nośnika odpowiedni ładunek (np. poprzez zastosowanie polietylenoiminy). Zarówno czynniki wiążące jak i stosowane modyfikacje nośnika muszą być indywidualnie dobierane, gdyż mogą one redukować żywotność komórek bakterii oraz powodować opory dyfuzyjne.

W metodach wykorzystujących wiązanie do powierzchni nośnika należy zwracać szczególną uwagę na zmiany środowiska (np. spadek pH może powodować odklejanie się komórek bakterii). Ponadto obserwuje się częściowe uwalnianie materiału biologicznego związane z autolizą komórek bakterii z niższych warstw, turbulencjami czy przepływem fazy ciekłej [BAKUŁA I IN. 2013].

Unieruchomienie materiału wewnątrz nośnika polega na fizycznym zamknięciu komórek w matrycy. Drobnoustroje zamknąć można wewnątrz półprzepuszczalnej membrany w postaci kapsułki (nanokapsułkowanie i mikrokapsułkowanie) bądź kapilary (makrokapsułkowanie) lub pułapkować w porowatym nośniku [ULUDAG I IN. 2000].

Pułapkowanie (inkluzja) polega na uwięzieniu komórek w trójwymiarowej matrycy, której rozmiar jest istotnie większy od rozmiarów komórek bakterii - najczęściej są to kuleczki o średnicy 0,3–3 mm [BONIN 2008]. Materiał biologiczny można wymieszać z roztworem nośnika (monomerem bądź nieusieciowanym polimerem) i środka sieciującego, a następnie układ taki poddać polimeryzacji. Do produkcji matryc pełnożelowych wykorzystuje się związki chemiczne pochodzenia naturalnego bądź syntetyczne, które żelują poprzez wytworzenie między cząsteczkami wiązań wodorowych, hydrofobowych, kowalencyjnych lub oddziaływań jonowych. Muszą one spełniać pewne wymagania:

- nie być toksyczne względem unieruchamianych komórek,
- tworzyć żel w łagodnych warunkach (temperatura, pH, nietoksyczne odczynniki),
- mieć odpowiednie właściwości mechaniczne [HUNKELERI IN. 1997].

Tytułem przykładu w biotechnologii materiałem najczęściej stosowanym do pułapkowania jest alginian sodu (jednowartościowa sól kwasu alginianowego) – liniowy kopolimer zbudowany z dwóch typów monomerów: kwasu β-Dmannurowego i α-L-guluronowego, pozyskiwany z morskich brunatnic [BAKUŁA I IN. 2013; PIELESZ 2010].

Kapsułkowanie polega na otaczaniu rdzenia ściankami uformowanymi z jednej lub kilku substancji okrywających [ARSHADY 1993]. Rdzeń stanowi zwykle 10-90% ogólnej masy kapsułki, którym może być substancja lub mieszanina substancji w postaci stałej, ciekłej lub gazowej. Materiałem ścianek mogą być związki naturalne bądź syntetyczne [DEMBCZYŃSKI, JANKOWSKI 2004]. Technikami wykorzystywanymi do formowania kapsułek są:

- odparowanie rozpuszczalnika,
- żelowanie za pomocą jonów,
- suszenie rozpyłowe,
- powlekanie,
- ekstruzja,
- koacerwacja,
- denaturacja termiczna,
- suszenie sublimacyjne [POTHAKAMURY, BARBOSA-CÁNOVAS 1995].

Kapsułki zwykle zapobiegają ucieczce komórek z nośnika, jednocześnie nie zaburzając przepływu małocząsteczkowych produktów i substratów [DEMBCZYŃSKI, JANKOWSKI 2004].

Nanokapsułki to zwykle warstwy otaczające pojedynczą komórkę bakteryjną, a ich średnica nie przekracza 0,2 μm [DEMBCZYŃSKI, JANKOWSKI 2004]. Metoda ta eliminuje niewykorzystaną przestrzeń w rdzeniu kapsuły, co może korzystnie wpływać na transport cząsteczek między otoczeniem kapsułki a masą komórkową, jednocześnie zmniejszając rozmiary szczepu. Sposobem wytwarzania takiego nośnika jest odwirowanie materiału biologicznego w gradiencie gęstości z polimerem np. z kopolimerem metakrylanu hydroksylowego i metarkrylanu metylowego [SEFTON I IN. 2000] lub z roztworem alginianu i czynnika sieciującego. Można także zastosować metodę warstwa po warstwie wykorzystując elektrostatyczne oddziaływania poszczególnych warstw. w technice tej używa się głównie polielektrolitów, czyli polimerów z ugrupowaniami jonowymi prowadzi to do powstania membrany koacerwacyjnej [DIASPRO I IN. 2002].

Mikrokapsułki są kuliste, a ich średnica zawiera się w przedziale 0,2-5000 μm. Metodami najczęściej stosowanymi do ich wytwarzania są metody polegające na modyfikacji pełnych kapsułek żelowych. Modyfikacje te miały głównie na celu stworzenie dodatkowych warstw pokrywających, dzięki którym komórki bakterii wydostające się z żelu zatrzymują się w wolnej warstwie między kapsułką a płaszczem. Następnie kapsułki pokrywano roztworem polietylenoiminy (ładunek ujemny), a rdzeń alginianowy upłynniano przy użyciu cytrynianu sodu [LIM, SUN 1980]. Mniej skomplikowane metody polegają na pokrywaniu kulek tłuszczami np. olejem palmowym [DING, SHAH 2009].

Makrokapsułki zwane też membranami kapilarnymi mają cylindryczny kształt, średnice wewnętrzną 0,5-1,5 mm i długość 1-10 cm [JASIŃSKI I IN. 2006]. Membrany kapilarne wytwarzane są między innymi z polipropylenu, polimeru z grupy poliolefin. Polimer ten występuje w trzech podstawowych formach stereoizomerycznych:

- ataktycznej,
- izotaktycznej,
- syndiotaktycznej.

Polipropylen izotaktyczny, w którym konfiguracja wszystkich centrów chiralności jest jednakowa, posiada najlepsze własności mechaniczne i jest najczęściej wykorzystywaną formą. Polipropylen jest termoplastyczny, wykazuje dużą odporność chemiczną na działanie soli, zasad, kwasów i rozpuszczalników organicznych. Charakteryzuje się także dobrą gazoprzepuszczalnością. Jest materiałem niewrażliwym na działanie wody - absorpcja wody wynosi 0,01-0,03%. Polipropylen charakteryzuje się wysoką biozgodnością i nie jest biodegradowalny [KARGER-KOCSIS 1995]. Innymi materiałami stosowanymi do makrokapsułkowania jest m.in. polichlorek winylu, poliuretan czy polisulfon.

Unieruchomienie bez nośnika wykorzystuje naturalną (samoagregacja) bądź indukowaną zdolność komórek do tworzenia skupisk (indukowana flokulacja komórek i sieciowanie przestrzenne).

Sieciowanie przestrzenne to wiązanie komórek bakterii różnymi substancjami mogącymi reagować z grupami

funkcyjnymi osłon komórkowych bakterii. Wzajemne sieciowanie daje zwykle dosyć trwały biomateriał, jednak może prowadzić do częściowej utraty aktywności drobnoustrojów i utrudniać dyfuzję substratów.

Samoagregacja możliwa jest dzięki wydzielaniu przez komórki związków, które umożliwiają im wzrost w postaci kłaczków czy granulek (np. polimukosacharydów), a tworzeniu skupisk sprzyja duża koncentracja biomasy. Zdolność komórek do wzajemnego łączenia się może być zwiększana np. poprzez regulację pH, temperatury, a także poprzez dodawanie polielektrolitów.

Manipulowanie wyżej wymienionymi czynnikami w celu umożliwienia tworzenia skupień i konglomeratów nazywane jest indukowaną flokulacją. Materiał biologiczny otrzymany zarówno w procesach samoagregacji jak i flokulacji charakteryzuje się jednak małą wytrzymałością mechaniczną, co ogranicza możliwości jego zastosowania.

Drobnoustroje w środowisku naturalnym rzadko występują w postaci pojedynczych rozproszonych komórek, czyli tzw. planktonu [DONLAN 2002], a raczej wykazują tendencję do adsorpcji na granicy faz ciało stałe–ciecz, ciecz–gaz, czy ciecz–ciecz. Najczęściej tworzą one skupiska zwane biofilmem (lub błoną biologiczną) przylegające do powierzchni stałych lub powierzchni komórek innych organizmów [COSTERTON I IN. 1994; COSTERTON I IN. 1995]. Biofilm jest wielokomórkowym tworem złożonym z drobnoustrojów jednego lub wielu gatunków czy rodzajów [CHANDRA I IN. 2005].

Zdolność do tworzenia biofilmu mają zarówno mikroorganizmy autotroficzne, jak i heterotroficzne, wśród których znajdują się saprofity, a także drobnoustroje chorobotwórcze. w jego skład wchodzić mogą – obok bakterii – także grzyby, glony czy pierwotniaki [CURRIE 2001]. Kolonizacja różnych powierzchni przez mikroorganizmy możliwa jest dzięki ich adhezyjnym właściwościom, a strukturę powstałego biofilmu stabilizują substancje polimeryczne wydzielane pozakomórkowo, tzw. EPS (extracellular polymeric substances). Biofilm tworzą złożone, wielokomórkowe struktury, w których liczne komórki drobnoustrojów otoczone są warstwą śluzu [MONDS I O´TOOL, 2009]. Komórki mikroorganizmów wchodzących w skład biofilmu charakteryzują się specjalizacją do pełnienia różnych funkcji i wykazują odmienne cechy niż komórki żyjące w postaci wolnej.

Konstrukcja tych skupisk chroni mikroorganizmy przed niekorzystnym wpływem czynników zewnętrznych oraz stwarza możliwości łatwiejszej dostępności substancji odżywczych. Dlatego też biofilm może funkcjonować w warunkach, w których przetrwanie pojedynczych komórek byłoby trudne, a w wielu przypadkach nawet niemożliwe [FUROWICZ I IN. 2010].

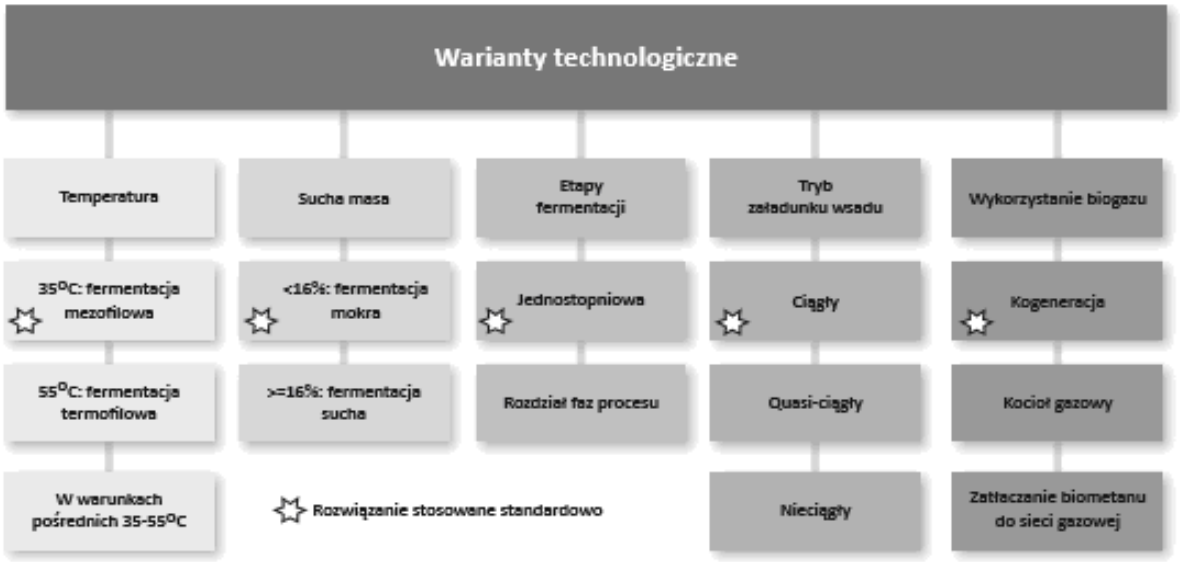
Mikroorganizmy wykształciły mechanizmy, dzięki którym zdolne są do wykorzystywania węglowodorów w charakterze substratu pokarmowego [KOŁWZAN 2008; KOŁWZAN I IN. 2005]. Mechanizmy te umożliwiają drobnoustrojom rozkład węglowodorów zawieszonych w postaci drobnych kropel (miceli) w roztworach wodnych. Wytwarzane przez mikroorganizmy biosurfaktanty powodują zwiększenie dostępności nierozpuszczalnych w wodzie substratów, a w ich obecności substancje te przechodzą do miceli i są rozprowadzane po powierzchni komórki. Substraty będące ciałami stałymi są natomiast zwilżane i dyspergowane, przez co zwiększa się ich powierzchnia. To z kolei umożliwia ich kolonizację przez

mikroorganizmy. Biodegradację węglowodorów prowadzi wiele gatunków bakterii i grzybów. Skutkiem działalności mikroorganizmów degradujących węglowodory są problemy z funkcjonowaniem wielu urządzeń, wynikające ze zmiany właściwości fizyczno-chemicznych substratów. Biodegradacja węglowodorów przez mikroorganizmy w niektórych przypadkach prowadzi do wytworzenia kwasów organicznych, jako produktów rozkładu, które powodują korozję metali [LÓPEZ I IN. 2010].

W obszarze inżynierii procesowej biofilm występuje powszechnie i bierze aktywny udział m.in. na złożach biologicznych odbywa się w zbiornikach wypełnionych porowatym materiałem ziarnistym. Na materiale stałym, z którego zbudowane jest złoże powstaje biofilm (błona biologiczna), stanowiący śluzowatą warstewkę złożoną z mikroorganizmów biorących udział w procesie degradacji zanieczyszczeń [KOŁWZAN 2008]. Złoża filtracyjne wypełnione odpowiednim nośnikiem, zasiedlone przez mikroorganizmy służą także do oczyszczania gazów [ADAMIAK 2005]. Mikroorganizmy zasiedlają w ten sposób także złoża piasku w procesach filtracji powolnej i pospiesznej, złoża węgla aktywnego czy złoża fluidalne do oczyszczania wody [LEWANDOWSKI, BOLTZ 2011]. w technologiach oczyszczania gruntów wykorzystywane są mikroorganizmy zasiedlające matrycę glebową [KOŁWZAN I IN. 2005]. Wytworzona przez nie warstewka biologiczna wykazuje niezwykle dużą aktywność degradacyjną oraz małą wrażliwość na działanie czynników zewnętrznych [SINGH I IN. 2006].

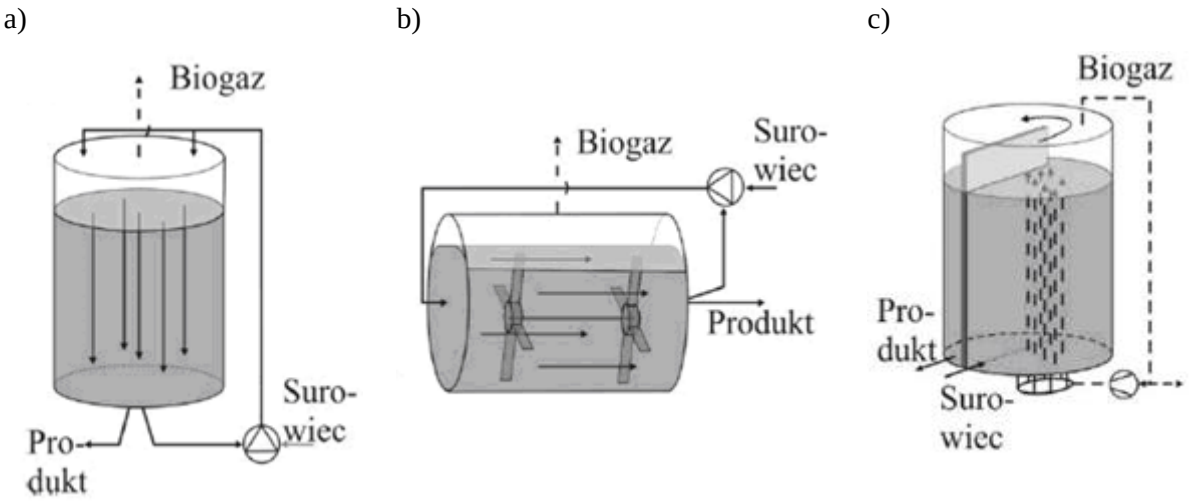
Wymagania technologiczne biogazowni rolniczej

Istnieje wiele możliwości [ONISZK-POPŁAWSKA, MATYKA 2012] przeprowadzenia fermentacji beztlenowej (rys. 4.1), ale najważniejszy jest wybór trybu pracy [JĘDRCZAK 2001] komory fermentacyjnej (rys. 4.2).



Źródło: ONISZK-POPŁAWSKA, MATYKA [2012].

Rys. 4.1. Warianty technologiczne budowy biogazowni rolniczej



Źródło: JĘDRCZAK [2001].

Rys. 4.2. Przykładowe usytuowania komór fermentacyjnych wg systemu: A-Dranco, B-Kompogas, C-Valorga

Komory fermentacyjne stanowią „serce" bigazowni, gdyż w nich przebiega właściwy proces fermentacji. Biogazownia może być wyposażona w jedną lub kilka komór fermentacyjnych,

co jest uzależnione od zastosowanych rozwiązań technologicznych. Komory mogą być betonowe lub stalowe, zaopatrzone w instalację do ogrzewania, muszą być właściwie izolowane, umożliwiające dostęp do wnętrza w przypadku awarii lub konieczności wykonania prac konserwacyjnych czy remontowych. Komory najczęściej budowane są na powierzchni gruntu, rzadziej są częściowo zagłębione. Istnieje też możliwość całkowitego zagłębienia komór w ziemi, co pozwala na lepszą izolację termiczną, jednak utrudnia dostęp do jej wnętrza czy urządzeń pomocniczych [KOWALCZYK-JUŚKO 2013].

Konfiguracja biogazowni, która odbywa się już na etapie planowania i projektowania, powinna w pierwszej kolejności zależeć od cech dostępnych substratów [ONISZK-POPŁAWSKA, MATYKA 2012].

Biogazownia rolnicza jest kompletną instalacją produkującą biogaz w zależności od klasyfikacji [JĘDRCZAK 2001] dostępnych technologii (tabela 2), przetwarzającą substancje organiczne z przemysłu rolno-spożywczego na drodze fermentacji beztlenowej.

Tabela 2. Klasyfikacja dostępnych technologii produkcji biogazu wg Eckiego i Lagerkvista

Lp.	Technologie fermentacji - system	Zakres temperatur	Liczba stopni	Typ reaktora	Metoda
1	BIOFILL	psychrofilowy	jednostopniowy	okresowy	mokra
2	BIOCEL	mezofilowy			
3	DEM	termofilowy			
4	SUNDERBYN	psychrofilowy	dwustopniowy		
5	BIOTHANE	mezofilowy			
6	SEBAC	termofilowy	wielostopniowy	sekwencyjny, okresowy	
7	VALORGA	mezofilowy	jednostopniowy	ciągłe mieszanie	
8	ATF			przepływ tłokowy	
9	DRANCO, KOMPOGAS	termofilowy			
10	HITACHI		dwustopniowy	okresowy	sucha
11	BTA-1, WABIO	mezofilowy	jednostopniowy	ciągłe	

12	SNAMPROGETTI	termofilowy		mieszanie	
13	BTA-2, PAQUES	mezofilowy	dwustopniowy		
14	PAQUES		trzystopniowy		

Źródło: JĘDRCZAK [2001].

Instalacja taka najczęściej zintegrowana jest z układem wykorzystującym powstały biogaz na przykład w agregacie kogeneracyjnym. Zasadniczymi elementami tworzącymi biogazownie są:

- układ wstępnego przygotowania i wprowadzania substratu,
- komora fermentacyjna,
- zbiornik magazynowy substancji przefermentowanej,
- zbiornik biogazu,
- agregat kogeneracyjny.

Układ wstępnego przygotowania substratów to zbiornik wraz z oprzyrządowaniem, umożliwiający rozdrabnianie substratów, mieszanie w celu uzyskania właściwej konsystencji oraz dozowanie, zwykle za pomocą pomp, do komory fermentacyjnej [GŁODEK 2010; DEN BOER, SZPADT 2013].

Obecny stan wiedzy o eksploatacji biogazowni rolniczych dotyczy stosunkowo dużych instalacji o mocy od 250 kW do 3 MW oraz stosunkowo nieskomplikowanych technologii wykorzystania biomasy produkowanej głównie na gruntach ornych.

c. Budynki, budowle i urządzenia wchodzące w skład biogazowni

Biogazownia to zespół urządzeń, służących do prowadzenia fermentacji metanowej substratów organicznych, wytworzonych w gospodarstwie rolnym, jak również umożliwiających ich wykorzystanie po zakończonym procesie fermentacji [MATCZUK 2007].

Biogazownia rolnicza zazwyczaj składa się z:

- zbiornika wstępnego do magazynowania substratu (np. gnojowicy),
- silosu na substrat roślinny (np. kiszonkę z kukurydzy),
- komory (lub komór) fermentacyjnej (bioreaktor),
- zbiornika gazu,
- generatora prądotwórczego w układzie kogeneracyjnym,
- zbiornika na substrat przefermentowany.

Pojemność zbiornika wstępnego do magazynowania substratu powinna być dostosowana do 0,5–2-krotnej objętości produkowanego substratu w ciągu doby. Zbiornik w zależności od składowanego materiału może być wykonany z betonu, stali lub tworzyw sztucznych i może występować w formie zbiornika zagłębionego lub naziemnego.

Zgodnie z regulacjami prawnymi biogaz rolniczy to paliwo gazowe, otrzymywane w procesie fermentacji metanowej surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych lub pozostałości z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego lub biomasy leśnej, z wyłączeniem gazu pozyskanego z surowców pochodzących z oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów. Powstaje on na skutek działania bakterii beztlenowych rozkładających substancje organiczne.

Najczęściej do produkcji biogazu wykorzystywana jest biomasa z roślin, a także odchody zwierzęce. Obecnie wykorzystywanymi substratami oprócz nawozu naturalnego są energetyczne surowce roślinne takie jak: kiszonki z kukurydzy, zielonki i kiszonki z traw.

Wielkość silosu na substrat roślinny zależy od ilości gromadzonych substratów. Silos powinien być wyposażony w instalację odbioru odcieków, która zapobiega przedostawaniu się odcieków do gleby. Aby zapobiec wysychaniu substratu lub dostaniu się wody deszczowej, silos powinien być szczelnie zakryty. Niektóre substraty roślinne o małym uwodnieniu, jak np. kiszonka z kukurydzy, składowane są w pryzmach pod przykryciem foliowym.

Komora fermentacyjna to najważniejszy element biogazowni, w której przebiega proces fermentacji metanowej. Od poprawności jej konstrukcji i właściwego wykonania uzależniona jest skuteczność całej inwestycji. Przede wszystkim jej ściany muszą być szczelne, aby

uniemożliwić przeciek cieczy i gazów. Niezbędna jest również dobra izolacja, zapewniająca możliwie minimalne straty ciepła. Im lepsza izolacja, tym mniejsze uzależnienie od temperatury zewnętrznej. Komora powinna mieć właz umożliwiający kontrolę wnętrza i ewentualne naprawy. w zależności od zastosowanej technologii biogazownia może być wyposażona w jedną lub więcej komór. Komory fermentacyjne mogą być poziome lub pionowe, wykonane z blachy stalowej, betonu lub tworzywa sztucznego. Komora powinna być wyposażona w urządzenie do mieszania jej zawartości (mieszadło lub inny system mieszający) oraz w system grzewczy pozwalający na osiągnięcie wymaganej temperatury fermentacji i utrzymanie jej. Przefermentowaną masę z bioreaktora odprowadza się najczęściej przez rurę przelewową.

Zbiornik gazu (biogazu) to obecnie najczęściej wydzielony zbiornik magazynujący, pracujący przy ciśnieniu wymaganym w sieci gazowej. Zgromadzony w nim biogaz przechowywany jest do czasu zapotrzebowania na energię. Najczęściej jest wykorzystywany w gazowym bloku energetycznym do jednoczesnego wytwarzania prądu elektrycznego i ciepła.

Przefermentowaną i częściowo odwodnioną masę można użyć jako cenny nawóz (w formie płynnej) lub składować w zbiorniku na substrat przefermentowany, który może być wykorzystany do produkcji kompostu (bionawozu) na potrzeby rynku.

Płynne nawozy naturalne charakteryzują się ogromnym bogactwem mikroorganizmów, które w pewnych warunkach mogą być czynnikami chorobotwórczymi dla ludzi i zwierząt.

Negatywny wpływ nawozów naturalnych na degradację środowiska naturalnego może być zminimalizowany pod warunkiem przestrzegania podstawowych praw ekologicznych, na których powinny być oparte wszystkie metody utylizacji gnojowicy, uzdatniające ją do bezpiecznego rolniczego wykorzystania.

Z wielu problemów, związanych ze znaczną koncentracją pogłowia, na czołowe miejsce wysuwa się problem zagospodarowania odchodów wykraczający poza ramy samego procesu produkcyjnego. Duża ilość odchodów zwierzęcych jest wystarczającym sygnałem do szukania racjonalnych metod ich przerobu i wykorzystania, zwłaszcza gnojowicy. Produkcja gnojowicy znacznie przekracza potrzeby nawozowe upraw, dlatego należy poddać ją skutecznej utylizacji. Jedną z metod utylizacji gnojowicy jest poddanie jej fermentacji metanowej. Fermentacja metanowa jest złożonym procesem biochemicznym zachodzącym w warunkach beztlenowych. Wielocząsteczkowe substancje organiczne są rozkładane przez bakterie na proste związki chemiczne ustabilizowane – głównie metan (CH_4) i dwutlenek węgla (CO_2). 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 chemicznych. Pozostałe części, np. trudno rozkładalna celuloza i ligniny, nie zmieniają się i w swej pierwotnej postaci są usuwane z komory fermentacyjnej.

Duże znaczenie ma właściwe przygotowanie nawozu naturalnego (gnojowicy) do fermentacji. Przede wszystkim okres wstępnego ich przygotowania przed załadowaniem do komory fermentacyjnej powinien być jak najkrótszy. Zbiorniki wstępnie magazynujące gnojowicę powinny mieć izolację cieplną, aby utrzymać substrat w odpowiedniej temperaturze zarówno zimą, jak i w lecie. Zbytnie wychłodzenie jak też utrzymywanie odchodów zwierzęcych w wysokiej temperaturze obniża ich wartość jako fermentowanego substratu.

Głównym celem zastosowania fermentacji metanowej nawozu naturalnego w warunkach rolnictwa jest ich utylizacja, jak również uzyskanie paliwa. Rozpatrując zagadnienie fermentacji metanowej, należy uwzględnić wszystkie korzystne aspekty nawozowe, energetyczne, a przede wszystkim ekologiczne.

Podczas fermentacji metanowej odpady podlegają stabilizacji w wyniku usunięcia dużej ilości węgla. Jedynymi usuwanymi z systemu składnikami są wydzielające się gazy: CH_4, CO_2 i H_2S. w trakcie omawianego procesu cały azot konserwowany jest w formie organicznej lub amoniakalne[CEBULA, LATOCHA 2005; JEWELL I IN. 1992].

Fermentator - opis stanu dotychczasowego.

Reaktor barbotażowy do prowadzenia procesów chemicznych w środowisku wielofazowym gaz-ciecz, zwłaszcza w układzie kaskadowym, składający się ze zbiornika cylindrycznego z dnami górnym i dolnym dystrybutora cieczy, umieszczonego w górnej części zbiornika oraz dystrybutora gazu umieszczonego w dolnej części zbiornika, a także z króćców doprowadzających i odprowadzających ciecz i gaz, znamienny tym, że w osi pionowej zbiornika umieszczony jest centrycznie element spiętrzający-syfon, którego dolna krawędź znajduje się poniżej dystrybutora gazu, a zamknięta górna część znajduje się poniżej dystrybutora cieczy, przy czym syfon zaopatrzony jest w boczny króciec odprowadzający ciecz oraz króciec gazów odlotowych - rurę odgazowującą wyprowadzony powyżej dystrybutora cieczy [GRZEGORZEWICZ I IN. 1994].

Kolumna barbotażowa zawierająca zbiornik w kształcie kolumny mający część dolną, część środkową i część szczytową, przy czym w części środkowej znajduje się jedna lub kilka poziomych dziurkowanych półek, których otwarta powierzchnia wynosi 3-20%, oraz zawierająca urządzenia do doprowadzania i odprowadzania fazy ciekłej oraz fazy gazowej,

dla eksploatacji kolumny barbotażowej w przeciwprądzie, znamienna tym, że dziurkowane półki mają zasadniczo równomierny rozkład dziurek na przekroju poprzecznym kolumny, zaś powierzchnia przekroju poprzecznego poszczególnych dziurek wynosi 0,003-3 mm^2, a strefy utworzone zawsze ponad i pod półką połączone są ze sobą za pomocą przynajmniej jednego przewodu opadowego do przepuszczania cieczy, przy czym przewód opadowy ma postać umieszczonej przy półce okrągłej rury, względnie segmentowego szybiku, lub leżącej na zewnątrz rury łączącej dwie sąsiadujące strefy [EICKHOFF, SCHÜTTE 1999].

Nawanialnia barbotażowa z przepływem wymuszonym zawierająca zbiornik z nawaniaczem połączony z kanałem głównym gazociągu, reduktor ciśnienia, panel sterujący, panel pneumatyczny i zawór wlotowy, według wynalazku charakteryzuje się tym, że zaworem wlotowym jest elektrozawór, którego otwarcie jest inicjowane przez sygnał z gazomierza, a czas jego otwarcia jest korygowany temperaturowo według krzywej nasycenia układu nawaniacz - metan [PEŁKA 2005].

Reaktor barbotażowy, który posiada dwie pętle cyrkulacji mieszaniny reakcyjnej, pierwszą pętlę w strefie mieszalnika, w postaci rury, który umieszczony jest w dolnej części rury barbotażowej, i który zawiera separator żaluzyjny stanowiący strefę separacyjną pierwszej pętli, dyfuzory wodoru z torusem, oraz dyszę gliceryny umieszczoną w strefie dyfuzorów wodoru i dysze zawiesiny katalizatora. Zawiera również drugą pętlę w pozostałej objętości reaktora, przy czym strefa barbotażowa drugiej pętli znajduje się wewnątrz rury barbotażowej, a strefa opadowa drugiej pętli usytuowana jest pomiędzy rurą barbotażową, a korpusem reaktora, i posiada żaluzyjny separator tłokowy [BUDNER I IN. 2010].

Reaktor barbotażowy do oczyszczania gazów wyposażony w cylindryczny zbiornik oraz króćce doprowadzające i wyprowadzające gaz oraz absorbent charakteryzuje się tym, że w zbiorniku pomiędzy półkami ma zamontowane wypełnienie stalowe podlegające procesom korozyjnym. Korzystnym jest, gdy wypełnienie stalowe podlegające procesom korozyjnym ma postać sprężyn, wykonanych z drutu stalowego ze stali F235JR [WYSOCKA 2014].

Fermentator gazowy zawierający izolowany termicznie i zamknięty dachem zbiornik charakteryzuje się tym, że część frakcji płynnej oraz część gazowa stanowią podział przestrzeni ograniczonej ścianką worka z ultrawytrzymałego, zbrojonego tworzywa sztucznego, przy czym wylot worka wieńczy połączony z nim szczelnie kołnierz zamknięty pokrywą, natomiast przez kołnierz przechodzi pionowy przewód rurowy z otworami, usytuowanymi w części dolnej części frakcji płynnej, oraz z otworami usytuowanymi w części górnej części frakcji płynnej. Ponadto w pionowym przewodzie rurowym, na wysokości przypadającej między krawędziami górnymi otworów i krawędziami dolnymi

otworów jest zamocowany zespół pompujący, poza tym ściankę worka powierzchni od ściany zbiornika oddziela izolacja termiczna. Pionowy przewód rurowy stanowi połączenie segmentu dolnego z segmentem propellera, w którym znajduje się zespół pompujący, oraz z segmentem górnym [MICHALAK 2012].

Urządzenie do wytwarzania biogazu z odchodów zwierząt chowanych na ściółce, wyposażone w komorę fermentacyjną mającą śmigłowe mieszadło oraz wymiennik ciepła połączony z ślimakowym dozownikiem oraz perforowanymi rurowymi pojemnikami. Urządzenie posiada wypłukująco-fermentacyjną komorę, zawierającą zewnętrzny pojemnik w postaci prostopadłościanu, w którym jest usytuowany wewnętrzny pojemnik w postaci ściętego ostrosłupa, połączony przewodem z międzykomorowym zbiornikiem, zaopatrzony w pompę, której rurowy przewód tłoczny jest połączony z fermentacyjną komorą, której górna część jest połączona za pomocą syfonu z recyrkulującym zbiornikiem zaopatrzonym w pompę doprowadzającą ciecz izolowanym rurociągiem do zraszacza zainstalowanego w górnej części wypłukująco-fermentacyjnej komory, przy czym na izolowanym rurociągu znajduje się trójdrożny zawór odprowadzający nadmiar cieczy do zraszaczowego zbiornika. Wewnętrzny pojemnik wypłukująco-fermentacyjnej komory ma jednolite ścianki boczne oraz jest otwarty na górze i na dole oraz jest usytuowany na ruszcie, pod którym jest zamocowany odciekowy kanał. w fermentacyjnej komorze jest zainstalowany spiralnie rurowy cieplny wymiennik połączony ze słonecznym kolektorem. Do zraszaczowego zbiornika jest doprowadzony rurowy dopływ ze zbiornika gnojówki znajdującego się przy budynku inwentarskim rurowy dopływ [ROMANIUK I IN. 2011a].

Reaktor do metanowej fermentacji gnojowicy, w postaci szczelnego zbiornika wyposażonego w urządzenie wymuszające ciągłą cyrkulację gnojowicy, charakteryzuje się tym, że wypełniony jest kształtkami. Kształtki, korzystnie z tworzywa sztucznego, posiadają rozwinięte powierzchnie, na których znajdują się szczepy bakterii odpowiedzialnych za fermentację metanową gnojowicy [MYCZKO I IN. 2012b].

Urządzenie zwiększające ilość uzyskiwanego metanu w reaktorze metanowym biogazowni, które połączone jest z reaktorem metanowym, charakteryzuje się tym, że zawiera rozdrabniacz zespolony z pompą, połączony z dolnym króćcem przyłączeniowym reaktora metanowego. Przewód tłoczny pompy zakończony jest przewężeniem, które umieszczone jest w górnej części reaktora metanowego. Przewężenie połączone jest za pomocą króćca przyłączeniowego z przewodem gazowym wyposażonym w elektrozawór, który łączy się ze źródłem zasilania wodorem. Źródłem tym jest elektrolizer lub butla z wodorem. Poszczególne elementy składowe urządzenia czyli rozdrabniacz, pompa, elektrozawór, źródło zasilania

wodorem oraz czujnik dwutlenku węgla, który umieszczony jest w reaktorze metanowym, połączone są z panelem sterowania elektrycznego wiązką elektrycznych przewodów przyłączeniowych [KONIECZNY I IN. 2013].

Zanurzony bioreaktor ze złożem biologicznym, podłączony do zbiornika wyrównawczego i zbiornika wody czystej. Bioreaktor posiada grubowarstwowy filtr piaskowy. Przepływ ścieków przez filtr odbywa się w obu kierunkach, tj. w kierunku odpływu (przepływ do przodu) i w kierunku napływu (przepływ wsteczny). Ciśnienie hydrostatyczne wytwarzane przez różnicę poziomów cieczy w zbiornikach, tworzy przepływ przechodzący ze zbiornika wyrównawczego do bioreaktora, a następnie do zbiornika wody czystej. Przepływ wsteczny jest uzyskiwany przez pompowanie w kierunku wstecznym ze zbiornika wody czystej przez bioreaktor. Przepływ przez bioreaktor zmienia się między odpływem i napływem. w alternatywnym rozwiązaniu według wynalazku, powietrze procesowe wymagane jest do utleniania części organicznych, a nitryfikacja uzyskiwana jest przez napowietrzenie zbiornika wody czystej. Woda bogata w tlen pompowana jest do filtra ze zbiornika wody czystej w czasie przepływu zwrotnego. Powietrze procesowe dostarczane jest do zbiornika wody czystej poprzez dyfuzory [PEDROS I DOBIE 2006].

Bioreaktor modułowy oraz sposób higienizacji i kompostowania odpadów w bioreaktorze modułowym, zwłaszcza odpadów o dużym uwodnieniu. Bioreaktor modułowy, charakteryzuje się tym, że każdy moduł jest utworzony z jednego elementu profilowanego, stanowiącego dno i ściany boczne, dwóch elementów będących ścianami zamykającymi bioreaktor z przodu i z tyłu oraz elementu łukowego, stanowiącego pokrywę bioreaktora. Bioreaktor wyposażony jest w wyciąg zapewniający przepływ powietrza przez kompostowaną masę i urządzenia rozładowcze. Urządzenie rozładowcze, w postaci zgarniacza lub transportera ślimakowego, zamontowane jest na dnie elementu profilowanego bioreaktora, co zapewnia w procesie rozładunku oddzielenie gotowego produktu od kompostowanej masy. w elemencie łukowym, będącym pokrywą bioreaktora zainstalowany jest wyciąg, odprowadzający nadmiar powietrza z procesu kompostowania. Bioreaktor składa się z kilku połączonych ze sobą modułów, utworzonych przez zestawienie dowolnej ilości elementów profilowanych, obudowanych elementami zamykającymi bioreaktor z przodu i z tyłu, a pokrywę stanowi element łukowy. Bioreaktor w zależności od jego pojemności (ilości złożonych modułów), oraz funkcji jaką ma pełnić wyposaża się w znane urządzenia napowietrzające, pomiarowe i rejestrujące temperaturę, automatykę do sterowania urządzeniami napowietrzającymi i inne w zależności od konkretnego przeznaczenia bioreaktora [PĘCZKOWSKA-MAIK, MAIK 2007].

Bioreaktor do hodowli tkankowych i komórkowych, wyposażony w kolagenowe matryce będące substratem dla hodowli komórkowych i tkankowych, z których każda ma wewnętrzną warstwę o gąbczastej strukturze, wewnątrz której utworzony jest system kanałów umożliwiających przepływ pożywki do warstwy obłożonej z dwóch stron warstwą z kolagenu o strukturze błony, zaś rosnące komórki tkanki są odkładane na powierzchni warstwy i w warstwie gąbczastej, przy czym matryce kolagenowe są otoczone pożywką [ŚLADOWSKI 2008].

Urządzenie ruchome do suchej fermentacji beztlenowej - bioreaktor zawiera co najmniej jedną komorę fermentacyjną do ułożenia i przetwarzania biomasy, zamykaną drzwiami gazoszczelnymi, oraz oddzieloną przestrzeń technologiczną. Komora fermentacyjna jest od wewnątrz wyposażona w płaszcz metalowy oddzielający grzejniki od przestrzeni wewnętrznej komory fermentacyjnej i w części górnej zainstalowane dysze do rozpryskiwania gęstwy stanowiące część integralną układu zamkniętego wyposażonego również w zbiornik gęstwy zainstalowany w przestrzeni technologicznej, połączony rurociągiem odprowadzającym z pompą do odprowadzania nadmiaru perkolatu, przy czym wewnątrz komory fermentacyjnej znajdują się czujniki monitorujące parametry fermentacji, która sterowana jest przez jednostkę sterującą [FUSKA 2012].

Beztlenowy bioreaktor, który stanowi kontener w postaci bębna z umieszczonymi na nim czujnikami temperatury i ciśnienia oraz płazem i króćcami wlotu biomasy oraz odbioru gazu, charakteryzuje się tym, że bęben wyposażony jest w wał mieszająco-grzewczy zasilany przewodami w energię cieplna, przy czym na wale osadzone są mieszadła wahadłowe, napędzane siłownikami hydraulicznymi, przymocowanymi do wnętrza korpusu bębna. w górnej części bębna zainstalowany jest zespół wtryskiwaczy z dyszami, zaś na dolnej krawędzi mieszadeł zamontowane są zgarniaki piasku, a na dnie bębna króćce wysypu piasku [KOCHAŃSKI, GIZELBACH 2013].

Bioreaktor hydrofitowy, przeznaczony głównie do oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych. Część mechaniczną oczyszczalni stanowi zbiornik do wstępnego oczyszczania ścieków. Kolejny, główny element to bioreaktor posadowiony w gruncie, zbudowany z pięciu warstw organiczno-mineralnych. Bioreaktor wykonany jest w wykopie ziemnym, odseparowanym w ścianach bocznych od kontaktu ze środowiskiem geomembraną, na dnie ułożony jest system rur drenarskich zbierających część oczyszczonych ścieków i odprowadzających je do studzienki kontrolno-pomiarowej. Pierwszą od dołu warstwę tworzy frakcja kamienista, kolejna warstwa zbudowana jest ze żwiru średniego, następnie piasku średniego, dalej warstwa organiczna z odpadków drzewnych nasączonych

biopreparatem do bioreaktorów hydrofitowych. Ostatnią warstwę tworzą keramzyt z perlitem. Powierzchnia bioreaktora porośnięta jest roślinnością makrofitową: tatarak zwyczajny (Acorus calamus) [WARĘŻAK 2013].

Bioreaktor strużkowy do oczyszczania gazu i sposób oczyszczania gazu, zwłaszcza powietrza z lotnych związków organicznych i ich mieszanin trudno rozpuszczalnych w wodzie. Bioreaktor strużkowy do oczyszczania gazu charakteryzuje się tym, że w zbiorniku umieszczona jest co najmniej jedna warstwa inertnego wypełnienia pokrytego aktywnym biofilmem mikroorganizmów i zraszacz umieszczony w górnej części zbiornika, między wlotem gazu a wypełnieniem, przy czym wylot oczyszczonego gazu znajduje się w dolnej części pobocznicy zbiornika, zaś w stożkowej dennicy umieszczone są zawory układu regulacji poziomu cieczy cyrkulującej. Sposób oczyszczania gazu charakteryzuje się tym, że gaz transportowany jest współprądowo z cieczą przez inertne złoże pokryte aktywnym biofilmem mikroorganizmów, przy czym złoże jest zraszane w sposób ciągły roztworem soli mineralnych w ilości 5-20 m^3/m^2h, zaś oczyszczany gaz rozprowadzany jest równomiernie wokół każdego punktu zraszającego [BARTELMUS I IN. 2014].

Bioreaktor ze złożem ruchomym, zwłaszcza do rekultywacji silnie zanieczyszczonych, akwakultur i małych zbiorników wodnych. Bioreaktor charakteryzuje się tym, że zawiera korpus bioreaktora wypełniony w co najmniej 30% zamkniętym w przepływowym zbiorniku złożem filtrującym, a do korpusu poprzez co najmniej jedną rurę doprowadzającą przyłączony jest kosz filtracyjny. We wnętrzu korpusu wydzielone są co najmniej cztery strefy: strefa dopływu strefa napowietrzania wyposażona a dyfuzor, strefa filtracji oraz strefa odpływu filtratu, przy czym w strefie doprowadzenia przez ścianę korpusu bioreaktora do jego wnętrza wprowadzona jest co najmniej jedna rura doprowadzająca [MAZURKIEWICZ I IN. 2015].

Znany jest z opisu zgłoszenia międzynarodowego bioreaktor zbudowany na bazie standardowej płytki hodowlanej [ROBBINS I IN. 2006].

Układ bioreaktorów stosowanych do hodowli komórek zwierzęcych. Komórki zaopatrywane są przez sieć rurek kapilarnych zbudowanych z materiału półprzepuszczalnego [SCHWARZ I IN. 1997].

W opisie patentowym opisano komorę dyfuzyjną, dzięki której może następować migracja komórek przez materiał porowaty odgraniczający obie komory. Komora ta ma zastosowanie w badaniu migracji komórek, jak i przy zasiedlaniu porowatych podłoży [COUGHLIN I IN. 1997].

Znany i dostępny na rynku jest bioreaktor CELLroII przeznaczony do hodowli komórek adherentnych, która odbywa się w specjalnych walcowatych butlach wprawianych przez urządzenie w ruch obrotowy [http://pfee.de/en/cellroll/ dostęp 15.04.2018].

Znane i dostępne na rynku są komory fermentacyjne pracujące w systemie: Dranco [www.ows.be/household_waste/dranco/ dostęp 15.04.2018], Kompogas [www.hz-inova.com/cms/en/home?page_id=256 dostęp 15.04.2018] i Valorga [www.valorgainternational.fr/en/mpg3-128079--VALORGA-S-ANAEROBIC-DIGESTION-PROCESS.html dostęp 15.04.2018].

d. Odzysk biogazu ze składowisk odpadów

Układy technologiczno-pomiarowe i sposoby do preparacji substratu, produkcji i oczyszczania surowego biogazu, magazynowania biogazu, kogeneracji, obróbki masy pofermentacyjnej - opis stanu dotychczasowego.

Znana jest instalacja do badań maszyn przepływowych o przelotowym lub cyrkulacyjnym układzie przepływu medium roboczego, której rurociąg jest wyposażony w armaturę, osprzęt, aparaturę kontrolno-pomiarową, wymiennik ciepła oraz jeden badany zespół sprężający medium robocze, albo jeden badany zespół rozprężający medium robocze, znamienny tym, że posiada dodatkowo drugi zespół rozprężający oraz zespół sprężający połączony szeregowo z zespołem badawczym, przy czym zespół sprężający zawiera motor napędowy, natomiast zespół rozprężający zawiera generator napędzany, przy czym zespół rozprężający i zespół sprężający posiadają przewody obejściowe [PESZKO 1991].

Znany jest układ regeneracji adsorbentu w instalacji adsorpcyjno-desorpcyjnej zawierający szeregowo połączone sprężarkę, podgrzewacz, co najmniej dwie kolumny adsorpcyjne pracujące naprzemiennie, chłodnicę wodną oraz osuszacz gazu, znamienny tym, że posiada pompę cieplną, której część będąca podgrzewaczem-skraplaczem włączona jest w obieg układu szeregowo przed podgrzewaczem i kolumną adsorpcyjną, a część będąca kondensatorem-parownikiem włączona jest za kolumną adsorpcyjną i chłodnicą oraz zaopatrzony jest w akumulator ciepła-zimna umieszczony w jednej kolumnie z osuszaczem gazu, który usytuowany jest między sprężarką, a kondensatorem-parownikiem [STASZEWSKI, WAGNER-STASZEWSKA 1991].

Znany jest układ z elementami instalacji, zawierający w ramie montażowej przewody i/lub rury, przeznaczone szczególnie dla wody, przy czym przewody i/lub rury są ukształtowane jako pasma ustawione zasadniczo pionowo, które przebiegają przez całą wysokość układu, znamienny tym, że przewody i/lub rury są zamocowane rozłącznie do ramy montażowej i za pomocą otworów wzdłużnych, umieszczonych w ramie montażowej można je przestawiać w kierunku poziomym i, że przewody, korzystnie w górnym obszarze układu, posiadają zawsze półpętlę, która jest ukształtowana jako półpętla kompensująca i/lub wyrównująca tolerancję [BLÄSS, SCHULZE 1992].

Znany jest sposób kondycjonowania gazów, zwłaszcza gazów spalinowych, gazowym SO_3 rozpylanym w strumieniu gazów spalinowych kierowanych do odpylania na elektrofiltrach, charakteryzującego się tym, że gazowy SO_3 otrzymuje się przez termiczny rozkład H_2SO_4 lub odparowanie ciekłego SO_3 przy użyciu wyłącznie ciepła własnego gazu spalinowego o

wysokiej temperaturze, do którego wtryskuje się H_2SO_4 lub ciekły SO_3. Instalacja kondycjonowania gazów charakteryzuje się tym, że zawiera przewód bocznikowy gazu spalinowego o wysokiej temperaturze, na którym zainstalowany jest inżektor z dyszą wtryskową ciekłego SO_3 lub H_2SO_4. Na wylocie przewodu są zainstalowane dysze świecowe rozpylające mieszankę gazu spalinowego i gazowego SO_3 w kanale spalin kierowanych na elektrofiltry [STRZELSKI I IN. 1993].

Znany jest sposób i instalacja do wytwarzania zmiennych natężeń przepływu co najmniej jednego czystego składnika przez frakcjonowanie mieszaniny gazowej w aparacie destylacyjnym zawierającym wypełnienie pakietowe i zaprojektowanym do utrzymywania znamionowego natężenie przepływu tej mieszaniny polega na tym, że dla przejścia z produkcji znamionowej na produkcję wyższą podwyższa się jednocześnie natężenie przepływu frakcjonowanej mieszaniny zgodnie ze stosunkiem tych produkcji i jednocześnie podwyższa się ciśnienie frakcjonowania w aparacie destylacyjnym z podwyższeniem granicy zalania aparatu [RIETH I IN. 1995]. w celu podwyższenia produkcji aparatu destylacyjnego zawierającego wypełnienie pakietowe, do wartości powyżej produkcji znamionowej, instalacja zawiera urządzenia do podwyższania natężenia przepływu mieszaniny destylowanej w aparacie i urządzenia do podwyższania ciśnienia pracy aparatu tak, aby podwyższyć granicę zalania aparatu w podobnych proporcjach. Rozmieszczenie kanałów w głównym wymienniku ciepła można zmieniać w zależności od ustalonego reżimu produkcji.

Znana jest instalacja do wielostopniowego oczyszczania gazów przemysłowych lub powietrza z pyłu i mgły, która zawiera układ wstępnego oczyszczania, znajdujący się w poziomym odcinku króćca wlotowego wyposażonego w dysze zraszające [KWAŚNY I IN. 1994]. Dolny koniec króća jest wprowadzony pod kątem do zbiornika cieczy zraszającej i układ ten spełnia funkcję płuczki uderzeniowej do wytrącania pyłu i kropel wody. Końcowy stopień oczyszczania stanowi zespół odemglaczy świecowych, umieszczonych w zbiorniku na przegrodzie nośnej usytuowanej nad powierzchnią cieczy zraszającej.

Znany jest sposób i instalacja do uzdatniania gazu ziemnego, zawierającego azot zwłaszcza o zawartości azotu 20-90% molowych, oraz zawierającego wyższe węglowodory, w których gaz ziemny przepuszcza się przez co najmniej jedno urządzenie do obniżania ciśnienia oraz przez stopnie oczyszczania, przy czym oddziela się wodę, węglowodory o co najmniej 5 atomach węgla i CO_2 oraz ochładza się go w co najmniej jednym wymienniku ciepła zanim rozłoży się go w separatorze kriogenicznym na azot i pozostałe po oczyszczaniu węglowodory, zaś pozostałość węglowodorów zawraca się do wymiennika ciepła i nagrzewa się je oraz schładza się gaz ziemny, znamienny tym, że całkowitą ilość gazu ziemnego, wraz

z zawartą w nim siarką, rozpręża się w pierwszej maszynie ekspansyjnej z generatorem, do ciśnienia pomiędzy 6-10 MPa, korzystnie pomiędzy 7-9 MPa, następnie gaz kieruje się do obróbki niskotemperaturowej [HOBLER I IN. 1996].

Znany jest sposób i instalacja do obróbki odpadów lub odpadów resztkowych [HAGEN 1997]. Sposób, według którego odpady lub odpady resztkowe obrabia się biologicznie albo mechaniczno-biologicznie oraz stosuje się rozdzielanie i rozdrabnianie, znamienny tym, że stabilizuje się odpady w zamkniętym pojemniku w warunkach wymuszonej wentylacji i tak obrobione odpady lub odpady resztkowe sortuje się na frakcję zawierającą materiał o małej gęstości i frakcję zawierającą materiał o dużej gęstości, oraz frakcję zawierającą materiał o dużej gęstości kruszy się selektywnie, przy czym kruche składniki tej frakcji rozdrabnia się, a takie składniki zanieczyszczające jak drewno lub tworzywo sztuczne pozostawia się nierozdrobnione, po czym rozdziela się, korzystnie przesiewa się, wybiórczo rozkruszoną frakcję na dwie frakcje.

Instalacja do obróbki odpadów lub odpadów resztkowych zawierająca pojemnik oraz usytuowane za nim urządzenia do sortowania oraz rozdrabniania, znamienna tym, że ma zamknięty pojemnik do obróbki i stabilizacji odpadów lub odpadów resztkowych z urządzeniem wymuszającym wentylację mechaniczną oraz zawiera umieszczony za pojemnikiem stół powietrzny sortujący stabilizowane odpady lub odpady resztkowe z odprowadzeniem frakcji zawierającej materiał o małej gęstości i odprowadzeniem frakcji zawierającej materiał o dużej gęstości, przy czym za stołem powietrznym usytuowane jest urządzenie do selektywnego kruszenia frakcji zawierającej materiał o dużej gęstości z umieszczonym za nim urządzeniem rozdzielającym, korzystnie sitem, selektywnie pokruszoną frakcję zawierającą materiał o dużej gęstości na dwie frakcje.

Znana jest instalacja do waloryzacji energetycznej odpadków miejskich i tym podobnych, zawierająca: urządzenie do rozdrabniania odpadków, z którego odpadki są pobierane; reaktor z krążącym paliwem quasi ciekłym, odbierający rozdrobnione odpadki z przewodu zasilającego i zawierający gęste boczne złoże zawiesinowe na ścianie reaktora, zawierające przewód zasilający w rozdrobnione odpadki oraz przewód ekstrakcyjny do odprowadzania nie poddających się upłynnieniu elementów ciężkich, umieszczony przy podłożu tego złoża, zabierający te elementy do urządzenia do sortowania dużych cząstek przy jednoczesnym schłodzeniu tych elementów i usunięciu obojętnej materii nie poddającej się upłynnieniu, przy czym pozostała część materii jest ponownie wprowadzania do reaktorów, urządzenie do odzyskiwania energii i obróbki gazów spalinowych, uchodzących z reaktora. Przynajmniej

część odpadków jest wprowadzana do urządzenia do rozdzielania dużych cząstek [MORIN, PEYRELONGUE 1998].

Znany jest sposób i instalacja do obróbki wilgotnego paliwa, zwłaszcza biomasy. Instalacja jest zintegrowana z urządzeniem do wytwarzania energii zawierającym sekcję spalania i sekcję wytwarzania energii, znamienna tym, ze ma suszarkę wilgotnego paliwa wyposażoną w doprowadzenie powietrza do spalania z otoczenia, doprowadzenie wilgotnego paliwa i odprowadzenie wysuszonego paliwa, przy czym suszarka jest połączona z urządzeniem do wytwarzania energii przewodem wilgotnego powietrza do spalania, a urządzenie do wytwarzania energii jest połączone przewodem gazów spalinowych ze skraplaczem wyposażonym w odprowadzenie kondensatu i połączonym z suszarką przewodem czynnika przenoszącego ciepło kondensacji gazów spalinowych [ABYHAMMAR 1996].

Znany jest sposób i urządzenie do nawaniania instalacji gazowej. Sposób polega na dodawaniu substancji zapachowej do gazu nośnego i doprowadzaniu jej razem z gazem nośnym do zbiornika buforowego, a następnie wstrzykiwaniu do instalacji gazowej, znamienny tym, że ciekłą substancję zapachową przed dodaniem jej do gazu nośnego ogrzewa się i odparowuje, miesza się substancję zapachową w stanie gazowym z gazem nośnym i tak otrzymaną mieszaninę gazową substancji zapachowej i gazu nośnego wprowadza się ze zbiornika buforowego do instalacji gazowej [SVENSSON 1996].

Urządzenie do nawaniania instalacji gazowej, zawierające zbiornik ciśnieniowy gazu nośnego i zbiornik magazynowy substancji zapachowej, połączone układem rur wlotowych ze zbiornikiem buforowym mieszaniny gazowej substancji zapachowej i gazu nośnego, oraz zawierające układ rur wylotowych, którymi zbiornik buforowy jest połączony z instalacją gazową znamienne tym, że w układzie rur wlotowych znajduje się urządzenie grzewcze.

Znany jest sposób i instalacja do termicznej utylizacji mokrego młóta, przy czym mokre młóto wstępnie suszy się mechanicznie w pierwszym stopniu suszenia, suszy się termicznie na następnym stopniu suszenia i na zakończenie utylizuje się termicznie przez spalanie lub zgazowywanie, znamienny tym, że w tym następnym stopniu suszenia odwodnione mechanicznie młóto podgrzewa się spalinami powstającymi w węźle energetycznym browaru [KEPPLINGER I IN. 1997].

Znany jest biologiczno-termiczny sposób obróbki odpadów i instalacja do biologiczno-termicznej obróbki odpadów [RINDELAUB 1998]. Biologiczno-termiczny sposób obróbki odpadów, w którym odpady rozdziela się na przynajmniej frakcję drobną i frakcję grubą, przy czym zasadniczą, fermentowalną część frakcji grubej odpadów poddaje się beztlenowej fermentacji i tak uzyskaną pozostałość fermentacyjną suszy się, przy czym przeprowadza się

przynajmniej mechaniczne oddzielenie udziału ciekłego od pozostałości fermentacyjnej, znamienny tym, że frakcję ciekłą po oddzieleniu od pozostałości fermentacyjnej zagęszcza się przez odparowanie wody do zawartości substancji suchej wynoszącej co najmniej 35%, po czym frakcję drobną o górnej granicy wielkości cząstek w zakresie pomiędzy 15 i 40 mm odpadów doprowadza się do płuczki mającej klasyfikator hydrauliczny z przynajmniej jedną dołączoną spiralą płuczącą i odprowadza się stosunkowo cięższe udziały, osadzające się na dnie klasyfikatora hydraulicznego za pomocą spirali płuczącej, zaś do końca wylotowego spirali płuczącej wprowadza się ciecz płuczącą przepływającą przez spiralę w przeciwprądzie do kierunku tłoczenia spirali płuczącej, przy czym materiały przylegające do cząstek odpadów spłukuje się i zawraca do klasyfikatora hydraulicznego, zaś jako ciecz płuczącą stosuje się kondensat, powstający przy zagęszczaniu.

Instalacja do biologiczno-termicznej obróbki odpadów, zawierająca stanowisko odbiorcze i fermentor do beztlenowej fermentacji z elementami do ograniczania mieszania materiału o różnym stopniu fermentacji, przy czym do fermentora, bezpośrednio względnie pośrednio dołączone jest urządzenie suszące pozostałość fermentacyjną, znamienna tym, że przed fermentorem dołączone jest urządzenie odsiewające, korzystnie bęben sitowy, rozdzielające odpady przynajmniej na strumień główny i na frakcję drobną, zaś w strumieniu głównym prowadzonym do fermentora umieszczone jest urządzenie rozdzielające, korzystnie prasa wytłaczająca, natomiast za jednostką odsiewającą dołączona jest płuczka dla frakcji drobnej, mająca klasyfikator hydrauliczny z przyłączoną przynajmniej jedną spiralą płuczącą przy czym przy końcu wylotowym spirali płuczącej znajduje się urządzenie doprowadzające ciecz płuczącą ze stopnia zagęszczania, zaś dołączone do fermentora urządzenie suszące ma stopień suszenia pozostałości fermentacyjnej do zawartości suchego substratu stanowiącej co najmniej 90%.

Znany jest sposób i instalacja do wykorzystania zawartości cieplnej biomasy. Sposób polega na wykorzystaniu zawartości cieplnej biomasy, przez przekazanie części uzyskanej z niej energii cieplnej, poprzez wymiennik ciepła, do co najmniej jednego odbiornika ciepła oraz synergistyczne przetworzenie drugiej jej części na energię mechaniczną, w sposobie uwolnienie zawartości cieplnej biomasy dokonuje się przez jej zgazowanie i wykorzystanie uzyskanego gazu palnego do wytworzenia pośredniego czynnika energetycznego [JAROSZYK, BACHORZ 2003].

Instalacja do wykorzystania zawartości cieplnej biomasy zawiera wymiennik ciepła, do którego jest przyłączony co najmniej jeden odbiornik ciepła oraz ma urządzenie

przetwarzające energię cieplną na energię mechaniczną, z którym jest sprzęgnięty, generator prądu elektrycznego.

Instalacja charakteryzuje się tym, że posiada urządzenie do zgazowania biomasy, które poprzez gazowy przewód zasila wytworzonym gazem palnym generator pary dostarczający parę, jako pośredni czynnik energetyczny, do urządzenia przetwarzającego energię cieplną na energię mechaniczną i dalej do wymiennika ciepła. Alternatywnie, instalacja ma urządzenie do zgazowania biomasy, które poprzez gazowy przewód zasila wytworzonym gazem palnym urządzenie przetwarzające energię cieplną na mechaniczną.

Znany jest sposób utylizacji gnojowicy świńskiej, bydlęcej lub kurzej przez fermentację metanową z wytworzeniem biogazu oraz instalacja do utylizacji gnojowicy przez fermentację metanową [KUMANOWSKI I IN. 2008]. Sposób utylizacji gnojowicy przez fermentację metanową z wytworzeniem biogazu, charakteryzuje się tym, że gnojowicę z fermentora kieruje się do urządzenia klasyfikującego, oddzieloną gęstą zawiesinę zawraca się do fermentora, a ciecz kieruje się do wymiennika ciepła, zasilanego ciepłą wodą zagrzaną w kotle zasilanym biogazem, powstającym w fermentorze, a następnie podgrzaną ciecz zawraca się do fermentora.

Instalacja do utylizacji gnojowicy przez fermentację metanową składa się z fermentora, połączonego z urządzeniem klasyfikującym, korzystnie hydrocyklonem, przy czym urządzenie klasyfikujące w swej dolnej części połączone jest zwrotnie z fermentorem, a w górnej części z wymiennikiem ciepła. Odprowadzenie biogazu znajduje się w górnej części fermentora i połączone jest z kotłem, który to kocioł połączony jest ze zbiornikiem gorącej wody, połączonym za pośrednictwem pompy z wymiennikiem ciepła.

Znany jest sposób przetwarzania odpadów i instalacja do przetwarzania odpadów [KOMAROWSKI 2010]. Sposób przetwarzania odpadów polega na tym, że odpady dostarczane do instalacji dzieli się na stanowisku przyjęcia odpadów korzystnie na cztery grupy odpadów, na odpady stałe, odpady ciekłe, osady ściekowe i odpady organiczne. Odpady stałe najpierw rozdrabnia się w rozdrabniarce, a następnie wydziela z nich w separatorze frakcję mineralną, którą kieruje się bezpośrednio na składowisko odpadów mineralnych i frakcję wysokokaloryczną, którą kieruje się do spalarni oraz trzecią frakcję, składającą się z odpadów biodegradowalnych, którą miesza się w zbiornikach pośrednich z odpadami ciekłymi wraz z wodą ze zbiornika wody, którego zawartość uzupełnia się cieczą klarowną ze zbiornika cieczy klarownej, po czym tak uzyskaną pulpę przekazuje się do hydrolizy termicznej w reaktorze hydrolizy termicznej. Osady ściekowe miesza się w zbiorniku pośrednim z wodą ze zbiornika wody i korzystnie poddaje się pasteryzacji w pasteryzatorze, a następnie łączy

się je komorze fermentacji beztlenowej z substratem po hydrolizie termicznej oraz korzystnie z osadem nadmiernym z biologicznego stopnia oczyszczania i poddaje się fermentacji beztlenowej, a następnie sedymentacji w komorze sedymentacyjnej. Uzyskany w procesie fermentacji beztlenowej gaz przekazuje się do napędu generatora prądu, a niskokaloryczny nadmiar gazu kieruje się do palnika spalarni. Uzyskaną po sedymentacji ciecz klarowną odprowadza się do zbiornika cieczy klarownej, z kolei osad posedymentacyjny poddaje się działaniu koagulantów i flokulantów w stacji polielektrolitów, a następnie filtracji, korzystnie na prasach filtracyjnych. Uzyskany w ten sposób osad pofiltracyjny składuje się w zbiorniku placka nawozowego zaś odciek pofiltracyjny kieruje się do zbiornika cieczy klarownej. Część cieczy klarownej ze zbiornika cieczy klarownej podaje się do zbiornika wody, a część podaje się do biologicznego stopnia oczyszczania. Część osadu czynnego otrzymanego w tym biologicznym stopniu oczyszczania zawraca się na wejście do biologicznego stopnia oczyszczania a jego nadmiar poddaje się fermentacji beztlenowej w komorze fermentacji beztlenowej. Ciecz otrzymaną po oczyszczaniu biologicznym poddaje się oczyszczaniu chemicznemu w stacji chemicznego oczyszczania, po czym otrzymaną ciecz klarowną w części zawraca się do zbiornika wody, a jej nadmiar odprowadza się do rzeki. Osad z oczyszczania chemicznego poddaje się odsączeniu, korzystnie odwirowaniu na wirówce i uzyskaną ciecz zawraca się do ponownego oczyszczania chemicznego, zaś osad z odsączania podaje się do zbiornika placka nawozowego. Placek nawozowy suszy się i przekazuje na składowisko placka nawozowego do wykorzystania jako nawóz lub suszy się i przekazuje do spalania w spalarni wraz z frakcją wysokokaloryczną odpadów stałych. Ciepło do hydrolizy, pasteryzacji, fermentacji beztlenowej i suszenia gromadzonego w zbiorniku placka nawozowego pobiera się ze spalarni oraz ze spalin i układów chłodzenia generatora prądu.

Znany jest sposób wyizolowania biomolekuł i frakcji biomolekuł z masy fermentacyjnej i pofermentacyjnej biogazowni oraz instalacja do tego sposobu [KONIECZNY I IN. 2014]. Istota wynalazku polega na możliwości jednoczesnego uzysku i wykorzystaniu z masy fermentacyjnej reaktora metanowego dowolnej biogazowi produktów rolniczych i przemysłowych w postaci biogazu, pofermentu oraz wybranych biomolekuł i frakcji biomolekuł. Biomolekuły te powstają w wyniku fermentacji metanowej zachodzącej w komorze fermentacyjnej i należą do grupy między innymi aminokwasów, kwasów hydroksykarboksylowych (na przykład kwas mlekowy), polioli (na przykład 1,3-propanodiol, 2,3-butanodiol), kwasów dikarboksylowych (na przykład kwas fumarowy, kwas bursztynowy, kwas itakonowy) naturalnych poliestrów alifatycznych i ich kopolimerów (na przykład

polikwas hydroksymasłowy, polikwas hydroksywalerianowy, kopolimer 3-hydroksykwasu masłowego z 3-hydro-ksykwasem walerianowym). Produktem rolniczym mogą być dodatki do pasz oraz shigienizowany nawóz rolniczy. Produkty przemysłowe w postaci biomolekuł i frakcji biomolekuł mają zastosowanie między innymi w produkcji tworzyw sztucznych, żywic, farb, klejów, witamin, odżywek i suplementacji dla osób aktywnych fizycznie czy pasz dla zwierząt, a także w przemyśle spożywczym, kosmetycznym i farmaceutycznym.

Sposób według wynalazku z zastosowaniem technik membranowych, zapewnia jednoczesne pozyskiwanie kilku związków chemicznych o znaczeniu przemysłowym i rolniczym. Możliwość łączenia modułów membranowych ułatwia w zależności od zapotrzebowania powiększenie skali przetwarzania masy fermentacyjnej oraz produkcji biomolekuł i frakcji biomolekuł. Dzięki dużej powierzchni membran przypadających na ich jednostkę objętości zainstalowanie modułów membranowych nie wymaga znacznych przestrzeni, co pozwala zwiększyć wydajność procesu separacji. Zastosowane techniki separacji nie wymagają stosowania wysokich temperatur oraz chemikaliów, dlatego nie powodują zmiany struktury chemicznej oraz destrukcji izolowanych substancji, biomolekuł i mikroorganizmów.

Znany jest sposób jednoczesnego wytwarzania wodoru i biogazu oraz instalacja do jednoczesnego wytwarzania wodoru i biogazu [SZEWCZYK, ZAMOJSKA-JAROSZEWICZ 2011]. Sposób wg wynalazku charakteryzuje się tym, że fermentacja wodorowa i fermentacja metanowa przebiegają równocześnie, w rozdzielonych przestrzeniach reakcyjnych, które kontaktują się wyłącznie poprzez membranę półprzepuszczalną. Dzięki temu, możliwe jest niezależne sterowanie obydwoma procesami i zapewnienie niezależnie warunków do stabilnego przebiegu każdego z nich.

Instalacja do jednoczesnego wytwarzania wodoru i biogazu z substancji organicznych na drodze fermentacji składa się z dwóch przestrzeni reakcyjnych - przestrzeni fermentacji wodorowej oraz przestrzeni fermentacji metanowej, przy czym na drodze ciekłych produktów organicznych z przestrzeni fermentacji wodorowej do przestrzeni fermentacji metanowej znajduje się membrana półprzepuszczalna. Membrana półprzepuszczalna przepuszcza ciekłe, organiczne produkty fermentacji wodorowej, a nie przepuszcza drobnoustrojów. Instalacja może składać się z jednego bioreaktora, w którym przestrzenie reakcyjne oddzielone są membraną półprzepuszczalną. Możliwe jest zastosowanie dwóch oddzielnych bioreaktorów, przy czym membrana półprzepuszczalna może znajdować się albo pomiędzy bioreaktorami, albo w bioreaktorze fermentacji wodorowej, albo w bioreaktorze fermentacji metanowej. w każdym z przypadków ciekłe, organiczne produkty fermentacji wodorowej przechodząc przez membranę półprzepuszczalną stanowią surowiec dla fermentacji metanowej.

Znana jest biogazownia z tunelową komorą fermentacyjną i instalacja do wytwarzania i utylizacji biogazu [FOTYGA 2011]. Biogazownia wyposażona w zbiornik biomasy z izolowaną termicznie podstawą i pionowymi ściankami bocznymi, instalację do zwilżania biomasy cieczą procesową, instalację do recyrkulacji wody odciekowej, łukowe pokrycie dachowe podparte na pionowych ścianach bocznych zbiornika biomasy, gazoszczelne ściany szczytowe oraz magazyn biogazu utworzony przez podwójną warstwę folii pokrycia dachowego z wlotem do magazynu biogazu usytuowanym w górnej części komory fermentacyjnej charakteryzuje się tym, że obie warstwy folii, górna i dolna, tworzące magazyn biogazu, są zamocowane po przeciwnych stronach sztywnej łukowej konstrukcji nośnej pokrycia dachowego. Folia dolna, ma przy podstawie łukowej konstrukcji nośnej szczeliny gazowe, a do kanału wlotowego jest przyłączony wentylator kanałowy wymuszający przepływ biogazu do magazynu biogazu. Dolne krawędzie pokrycia dachowego są podparte we wzdłużnych zagłębieniach wykonanych w górnej części pionowych ścian bocznych zbiornika biomasy, które to zagłębienia tworzą gazoszczelne połączenie z dolnymi krawędziami, zwłaszcza syfonowe. Instalacja do zwilżania biomasy cieczą procesową, ma dysze zwilżające usytuowane w strefie załadowania biomasy na zmiennej wysokości, zależnie od wysokości strefy załadowania biomasy, korzystnie w strefie pośredniej. Ponadto w strefie załadowania biomasy znajduje się kanał wzdłużny na pulpę wydzielony przez podpartą na dnie zbiornika biomasy perforowaną przegrodę, usytuowany równolegle do pionowych ścianek bocznych. Instalacja, składająca się z tunelowej komory fermentacyjnej, stanowiącej przestrzeń wewnętrzną biogazowni z wypukłym pokryciem dachowym, magazynu biogazu utworzonego przez dwie warstwy folii pokrycia dachowego z wlotem do magazynu biogazu usytuowanym w górnej części komory fermentacyjnej, instalacji do zwilżania biomasy cieczą procesową, instalacji do recyrkulacji wody odciekowej, układu kogeneracji zasilanego przez biogaz doprowadzany rurociągiem gazowym z magazynu biogazu, oraz układu automatyki do sterowania procesem wytwarzania i utylizacji biogazu charakteryzuje się tym, że obie warstwy folii, górna i dolna, tworzące magazyn biogazu, są zamocowane po przeciwnych stronach sztywnej hakowej konstrukcji nośnej pokrycia dachowego, folia dolna ma przy podstawie łukowej konstrukcji nośnej szczeliny gazowe, a do kanału wlotowego jest przyłączony wentylator kanałowy wymuszający przepływ biogazu do magazynu biogazu. Instalacja do zwilżania biomasy cieczą procesową, ma rurociągi zwilżające z dyszami zwilżającymi usytuowanymi w strefie załadowania biomasy na zmiennej wysokości, zależnie od wysokości strefy załadowania biomasy, korzystnie w strefie pośredniej, a ponadto w strefie załadowania biomasy znajduje się kanał wzdłużny na pulpę, usytuowany równolegle

do pionowych ścianek bocznych, wydzielony przez podpartą na dnie zbiornika biomasy perforowaną przegrodę, korzystnie w kształcie odwróconej litery U. Kanał wzdłużny jest zasilany pulpą przez rurociąg wewnętrzny usytuowany w jego górnej części. w skład instalacji do recyrkulacji wody odciekowej wchodzi bezprzeponowy wymiennik ciepła i masy połączony rurociągiem wody odciekowej ze zbiornikiem biomasy i rurociągiem powrotnym z instalacją do zwilżania biomasy cieczą procesową. Bezprzeponowy wymiennik ciepła i masy ma złoże stałe o dużej pojemności cieplnej, przez które jest przepuszczana woda odciekowa w przeciwprądzie do spalin doprowadzonych do złoża przewodem spalinowym z układu kogeneracji.

Znany jest sposób oczyszczania biogazu do parametrów gazu przesyłowego oraz instalacja do oczyszczania biogazu [FILANOWSKI I IN. 2013]. Sposób oczyszczania biogazu według wynalazku, w którym z nieczyszczonego biogazu usuwa się dwutlenek węgla, charakteryzuje się tym, że usuwanie dwutlenku węgla odbywa się poprzez schłodzenie ciekłym azotem biogazu doprowadzając go do rozdziału faz w ten sposób, że nieuzdatniony biogaz kierowany jest rurociągiem na sprężarkę w celu podniesienia ciśnienia do wartości wyższej niż 1,5 MPa, a następnie przepływa przez wstępny wymiennik ciepła dla wstępnego schłodzenia celem łatwiejszego oddzielenia wody, przy czym schładzanie biogazu odbywa się biogazem wyjściowym z instalacji, a następnie, po wstępnym schłodzeniu, biogaz kierowany jest na kolumnę wstępnego oczyszczania w celu oddzielenia wody oraz usunięcia siarkowodoru, po czym tak przygotowany biogaz kierowany jest do wymiennika ciepła, gdzie przy użyciu ciekłego azotu zostaje schłodzony do temperatury w zakresie od -62 do -72°C, a następnie po opuszczeniu wymiennika ciepła biogaz kierowany jest do separatora, w celu rozdzielenia dwutlenku węgla wraz z pozostałymi zanieczyszczeniami od metanu.

Znane są sposoby i instalacje do termiczno-biologicznego przetwarzania odpadów, gdzie na początku linii znajdują się stanowiska przyjęcia odpadów stałych i odpadów ciekłych. Odpady stałe na kolejnych stanowiskach poddaje się rozdrobnieniu i ujednorodnieniu pod względem rozmiarów, po czym odpady segreguje się, oddzielając odpady organiczne od nieorganicznych, takich jak metale, szkło, tworzywa sztuczne, odpady włókiennicze. Wyodrębnione odpady nieorganiczne odsyłane są do dalszego przerobu przez wyspecjalizowane firmy. Na kolejnym stanowisku stałe odpady organiczne miesza się z wodą i odpadami ciekłymi, takimi jak ścieki, serwatka, gnojowica. z zawiesiny wydziela się piasek i inne wypłukane części stałe, następnie osad odwadnia się do 16-17% suchej masy i poddaje hydrolizie termicznej w znanym reaktorze i znanym sposobem. Po procesie hydrolizy termicznej osad poddaje się fermentacji beztlenowej w temperaturze 40°C w komorze

fermentacyjnej, z której z góry odbiera się powstały w procesie biogaz, a z dołu przefermentowany osad, który na następnym stanowisku odwadnia się i przekazuje do zewnętrznego wykorzystania w uprawach rolniczych bezpośrednio do ziemi albo do suszenia i wykorzystania jako biopaliwo. Wodę odzyskaną przy odwadnianiu zawraca się do komory mieszania z odpadami stałymi. Biogaz wykorzystuje się do ogrzewania wody i wspomagania wytwarzania pary używanej w procesie hydrolizy termicznej lub przekazuje się do stacji paliwowej do napędzania pojazdów.

W znanych urządzeniach kompostowanie poprzedzone jest operacją fermentacji, to znaczy fermentacją beztlenową tak, aby wytwarzać biogaz. Biogaz z reguły spalany jest na miejscu, w dołączonej do urządzenia elektrociepłowni. Uzyskiwana przy tym z reguły energia termiczna i elektryczna zużywana jest dla celów wewnętrznych lub w inny sposób.

Fermentacja rozkładalnych udziałów odpadów znana jest również z opisów Dipl'a [1988] I Hood'a [1987] przy czym każdorazowo wymienione jest zastosowanie powstającego biogazu jako paliwa.

Opis według Reynell'a [1989] przedstawia sposób obróbki odpadów, w którym przeprowadza się fermentację odpadów stałych i oddzielnie fermentację płynnego udziału, wskutek czego uzyskuje się wyższy stopień fermentacji. Sfermentowana ciecz zawiera beztlenowe bakterie i dodaje się ją do fermentacji substancji stałych. Obydwie fermentacje zachodzą w wieżach, przy czym każdorazowo następuje wyrównywanie temperatury poprzez podgrzewanie. Fermentacja ciał stałych następuje w nieciągły sposób.

Publikacje Coletti'ego i Taverna [1985] oraz Bouche i Chaussinand'a [1992] dotyczą sposobów rozdzielania, w których z dna basenu podnosi się ciała stałe, które się tam osadziły, za pomocą urządzenia tłoczącego. Sposób rozdzielania stosuje się do materiału, poddanego już kompostowaniu albo innemu biologicznemu procesowi rozkładu.

Opis Coletti'ego i Taverna [1985] ujawnia urządzenie z osadnikiem, w którym umieszczony jest środek tłoczący, na przykład spirala tłocząca, w celu transportowania osadzonego materiału od dna do powierzchni. Pod spiralą tłoczącą i na górnym końcu nad spiralą umieszczone są dysze, z których tryska woda na transportowany materiał. Dysze zaopatrywane są przy tym na górnym końcu w świeżą wodę, w celu uzyskania żądanego działania czyszczącego.

Według Bouche i Chaussinand'a [1992] przeprowadza się przy tym rozdzielanie według masy właściwej stosunkowo dużych składników (wielkość ≥ 50 mm). Doprowadzenie wody do przewodu pionowego od dna osadnika, zawierające urządzenie tłoczące służy do tego, aby odsuwać (utrzymywać w dystansie) porwane do dołu, lekkie cząstki od przewodu pionowego

i wytwarzać w osadniku dodatkowy prąd, skierowany do góry, aby stosunkowo lekkie cząstki wznosiły się.

W opisie patentowym [DE4434611A1, 1994] ujawniono sposób i urządzenie do biologiczno-mechanicznej obróbki odpadów charakteryzujący się tym, że odpady najpierw przesiewa się, rozdrabnia i homogenizuje, a następnie poddaje rozkładowi biologicznemu, po czym produkt rozkładu rozdziela się na frakcję organiczną i nieorganiczną. w rozwiązaniu tym do rozdzielania materiału po obróbce biologicznej na frakcję organiczną i nieorganiczną stosuje się rozdzielanie według wielkości za pomocą sit o grubych i drobnych oczkach połączone z rozdzielaniem na mokro.

Znany jest sposób utylizacji odpadów wyłącznie drogą fermentacji beztlenowej, przy czym odpady te są osadami z oczyszczalni ścieków zlokalizowanej na terenie biogazowni [PIERALISI 2008].

e. Fermentacja biodegradowalnej frakcji odpadów komunalnych

Intensyfikacja produkcji biogazu

Liczne doniesienia naukowe dotyczą standardowych prób fermentacji beztlenowej substratów i kosubstratów stanowiących pozostałość poprodukcyjną oraz produkty uboczne powstające w obrębie gospodarstw rolnych oraz na terenach wiejskich. Publikacje z tego zakresu dostarczają wiedzy o wydajności biogazotwórczej poszczególnych rodzajów stosowanej do biogazowania biomasy [KARŁOWSKI I IN. 2011]. Znacznie mniej dostępnych publikacji zawiera wyniki badań z zakresu przygotowywania konkretnych mieszanin fermentacyjnych z dostępnych substratów i kosubstratów o znanej już wydajności biogazotwórczej [MYCZKO I IN. 2011]. Badania takie są prowadzone w Instytucie Technologiczno–Przyrodniczym w Poznaniu [MYCZKO I IN. 2011; KOŁODZIEJCZYK I IN. 2011]. Nieliczne badania dotyczą wzajemnych oddziaływań inhibicyjnych oraz opracowań dotyczących optymalizacji mieszanek fermentacyjnych zawierających tzw. „substraty trudne", które albo mogą oddziaływać hamująco na proces fermentacji (np. nasiona roślin strączkowych), albo są przyczyną nadmiernej ilości siarkowodoru w biogazie (np. wywar gorzelniany), albo źródłem emisji odorowych (np. odpady cebuli itp.).

W kilku już eksploatowanych biogazowniach rolniczych w Polsce występują problemy z zanikiem procesu fermentacji, z wystąpieniem zagrożeń odorowych oraz z nadmierną ilością siarkowodoru w biogazie. Skutkiem tej sytuacji jest utrata gwarancji na drogie agregaty kogeneracyjne. Dla prawidłowego rozwoju rynku biogazowego w Polsce istotne jest aby uniknąć problemów występujących w dużych biogazowniach (zawodowych) na rzecz małych, prosumenckich instalacji lokalizowanych bezpośrednio w gospodarstwach rolnych. Poza tym obecnie stosowane technologie w małym jeszcze stopniu wykorzystują potencjał metonatwórczy substratów biomasowych. Natomiast dostępne wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że istnieją liczne metody intensyfikacji produkcji biogazu [MYSZOGRAJ 2007; BIEŃ 2007; OLESIENKIEWICZ 2010].

Wiele z tych metod było już weryfikowanych na biogazowniach współpracujących z komunalnymi oczyszczalniami ścieków, natomiast w biogazowniach rolniczych dotychczas ograniczano się do takich metod jak:

- Właściwy dobór kosubstratów i ich proporcji do substratu strategicznego;
- Dodawanie mikroelementów (Cu, Zn, Mo, Fe, Co, Ni) w celu ograniczenia hamującego działania składników występujących w nadmiarze lub zbyt małej ilości;

- Dodawanie substancji porowatych takich jak węgiel brunatny, węgiel drzewny, bentonit, fosforyt, zeolit, pektyny, żel silikonowy itp., które tworząc strukturę zwiększającą powierzchnię dla rozwoju bakterii, poprawiają tempo i stabilność reakcji, a tym samym zwiększają wydajność;
- Dodawanie chlorku żelazawego lub innych soli żelazowych w celu związania siarkowodoru, który jest toksyczny dla bakterii metanotwórczych. Dodatek tych soli poprawia również dostępność dla bakterii mikroelementów i umożliwia ograniczenie ich dodawania w formie syntetycznej [Rocson, 1994];
- Dodawanie substancji inokulujących, zawierających wyselekcjonowane szczepy bakterii, w celu zwiększenia populacji bakterii odpowiedzialnych za hydrolizę celulozy. Umożliwia to przyspieszenie fermentacji oraz poprawia przemianę lotnych związków organicznych w metan;
- Przyspieszanie hydrolizy biologicznej poprzez prowadzenie fazy hydrolizy w oddzielnym zbiorniku i oddzielenie jej od fazy fermentacji metanowej z jednoczesną recyrkulacją części zawartości fermentatora do zbiornika hydrolitycznego w celu dostarczenia do niego pożądanej dla procesu mikroflory;
- Dezintegracja chemiczna lub enzymatyczna, które są reakcjami zachodzącymi stopniowo. Reakcje te wywołują zwiększenie rozpuszczalności powstających polimerów oraz znaczne obniżenie lepkości;
- Szybkość procesu hydrolizy chemicznej zależna jest od stężenia użytego kwasu (czynnika katalizującego) oraz od temperatury procesu. Duże znaczenie ma tutaj również pochodzenie skrobi, a przede wszystkim wielkość ziaren skrobiowych. Enzymy natomiast spełniają rolę katalizatorów zapobiegających, przede wszystkim, odwracalności reakcji chemicznych.

W praktyce eksploatacyjnej oraz w dotychczasowych badaniach laboratoryjnych [OLESIENKIEWICZ 2010] nad opisanymi powyżej technikami ustalono, że aby bakterie otrzymywały dostateczną porcję substancji odżywczych stosunek C:N:S:P powinien wynosić 600:15:5:1. Autor ten podaje, że dodatek węgla drzewnego do stabilnie pracującego laboratoryjnego fermentatora spowodował wzrost produkcji biogazu o 17-35%, zaś dodatek żelu silikonowego nawet o 100%, przy jednoczesnym wzroście stężenia metanu w biogazie o 62-73%. w tych samych badaniach stwierdzono, że inokulacja fermentatora zasilanego mieszaniną osadu ściekowego, gnojowicy świńskiej i topinamburem, szczepem bakterii produkującym celulazy i wodór, spowodowała wzrost szybkości produkcji biogazu o 60%. w odniesieniu do wstępnej hydrolizy biologicznej gnojowicy bydlęcej, poprzez przetrzymanie

mieszaniny fermentacyjnej przez 1-2 dni w temperaturze 30-35°C uzyskano wzrost produkcji biogazu o 17-19% i wzrost stężenia metanu z 68-75% do 75-86%. Ten ostatni sposób może być wykorzystany do fermentacji beztlenowej wysłodków z buraka cukrowego i odpadów gastronomicznych.

Istotnym aspektem intensyfikacji produkcji biogazu jest również optymalizacja m. in.: węzła kogeneracji dla system transportu ciepła, węzła odzysku ciepła wraz z usytuowaniem kogeneratora oraz wymiennika ciepła, wentylacji grawitacyjnej w kontenerze, systemu mieszania substratu, zbiornika biogazu, zbiornika pofermentu oraz systemu uruchamiania pochodni, generatora pary, kompresora, osuszacza ziębniczego.

Oprócz opisanych powyżej technik i technologii do poprawy sprawności i wydajności procesu fermentacji beztlenowej w biogazowniach rolniczych, można zastosować metody wymagające zastosowania innowacyjnych urządzeń technicznych [POCZĄTEK, JANIK 2009]. Metody te wymagają zastosowania dodatkowych, niestosowanych dotychczas w praktyce produkcyjnej urządzeń, o parametrach dostosowanych do skali produkcji i wielkości eksploatowanych biogazowni. Wiedza w tym zakresie jest nie wielka, a praktyczne zastosowanie w odniesieniu do instalacji rolniczych wymaga jeszcze szczegółowych badań, które umożliwią ich zastosowanie do doskonalenia sprawności i wydajności konwersji biomasy w energię elektryczną i ciepło, przy jednoczesnym nacisku na efekty proekologiczne w całym cyklu życia oraz na efekty ekonomiczne. Praktyczne udostępnienie tych technologii będzie również wymagało szczegółowych ocen dotyczących ochrony środowiska oraz poddania ich ocenom ekologicznym. w poznańskim oddziale Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego [NAMYŚLAK 2012] badano negatywne zmiany wzrostu wykorzystania surowców odnawialnych w postaci upraw roślin na cele energetyczne, które powodują przekształcenie upraw, a w dalszej konsekwencji gruntów i mogą doprowadzić do negatywnych zmian w bilansie emisji gazów cieplarnianych. Współczynnik pośrednich przekształceń użytkowania gruntu (iLUC – indirect Land Use Change), został określony jako wyraz prawdopodobnych zmian. Zastosowano metodykę LCA (Life Cycle Assessment) dla celów szacowania emisji powodowanej przez jednostkę energii w jej cyklu życia. Metoda ta opisuje sposób oceny obciążenia środowiska, wywieranego przez produkt w całym cyklu życia produktu, czyli od powstania, aż do utylizacji. Wyniki przeprowadzonych symulacji wskazały, że pozyskanie energii z biogazu powoduje mniejsze obciążenie środowiska atmosferycznego aniżeli stosowanie paliw w sposób konwencjonalny.

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

Pilotażowa produkcja biogazu przy zastosowaniu gnojowicy świńskiej

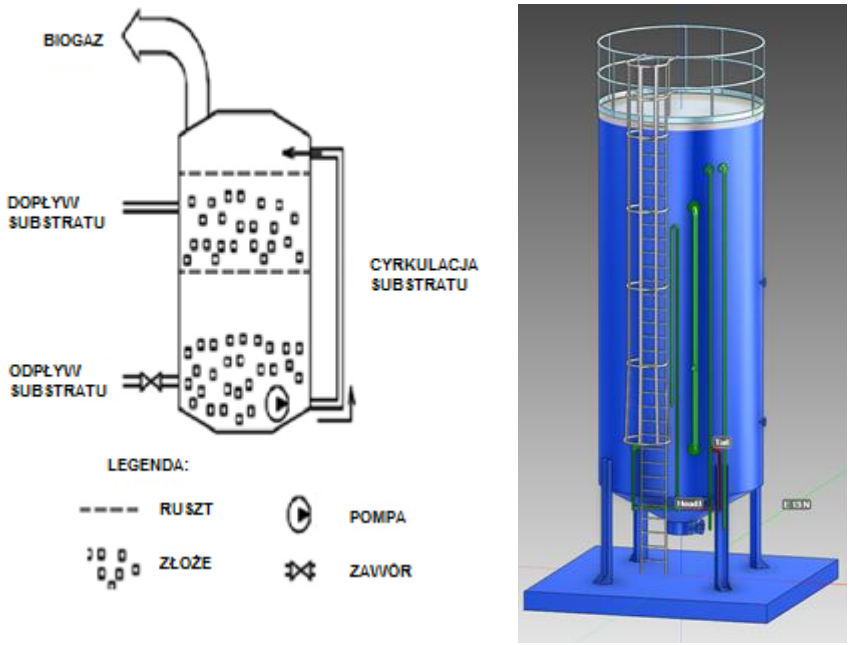
Zmniejszenie negatywnych dla środowiska skutków prowadzenia intensywnej produkcji zwierzęcej wymaga wkomponowania w cykl produkcyjny dodatkowych instalacji i urządzeń umożliwiających bieżącą sanitację powstających pozostałości poprodukcyjnych. Proces ten powinien przebiegać potokowo i być jednym z ogniw procesu produkcji żywności.

W Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Poznaniu opracowano w tym celu monosubstratowy reaktor do metanowej fermentacji gnojowicy, jako instalację [WAŁOWSKI 2018a] zlokalizowaną pomiędzy istniejącym budynkiem inwentarskim i zbiornikiem gnojowicy.

Gnojowica najczęściej jest produkowana w gospodarstwach, które posiadają zdolność zagospodarowania pozostałości pofermentacyjnej na użytkowanym areale gruntów. Gospodarstwa te, oprócz zwierząt, odpowiednio przystosowanych budynków i pomieszczeń inwentarskich, są zwykle wyposażone w profesjonalnie wykonane i eksploatowane zbiorniki do magazynowania gnojowicy. Pojemności tych zbiorników, z mocy obowiązujących przepisów, umożliwiają magazynowanie gnojowicy przez okres minimum 4 miesięcy. Po tym okresie oraz w sezonach agrotechnicznego nawożenia upraw roślinnych jest ona w stanie surowym (nieprzefermentowanym), wywożona na pola. w jej składzie znajdują się, m.in. duże ilości zdolnych do kiełkowania nasion chwastów, jaja parazytów i mikroorganizmy patogenne. Wkomponowanie w taki cykl produkcyjny instalacji umożliwiającej skierowanie całego strumienia gnojowicy z kanałów podrusztowych obory lub chlewni do pracującego w trybie przepływowym reaktora, w którym będzie zachodziła fermentacja beztlenowa, pozwala na uzyskanie czystego biologicznie nawozu. w ten sposób, oprócz uzyskania energii w postaci prądu i ciepła, możliwe będzie stosowanie na polach wartościowego pod względem ekologicznym i plonotwórczym nawozu. Taka instalacja będzie również spełniała realizację kryteriów produkcji zrównoważonej w gospodarstwach rolnych prowadzących produkcję zwierzęcą.

Zaprojektowanie oraz budowę [WAŁOWSKI 2018a] modelu monosubstratowego, przepływowego reaktora biogazowego, zrealizowano na podstawie wynalazku [MYCZKO I IN. 2012] - przykład rozwiązania przedstawiono na rysunku 4.3.

a) b)



Rys. 4.3. Reaktor przepływy monosubstratowy do fermentacji metanowej gnojowicy:
a) schemat ideowy (*Źródło: MYCZKO I IN. [2012]*),
b) wizualizacja reaktora zgodnie z oprogramowaniem AVEVA (*Źródło: model własny*).

Fermentator monosubstratowy do metanowej fermentacji gnojowicy według wynalazku [MYCZKO I IN. 2018] o kształcie cylindrycznym, charakteryzuje się tym, że wewnątrz posiada pionowe rury o chropowatej powierzchni, zaś w górnej części fermentatora jest wspólny króciec doprowadzający świeży substrat w postaci gnojowicy i masę fermentującą oraz króciec wylotowy biogazu. Króciec wylotowy biogazu połączony jest przewodem rurowym, za pośrednictwem dmuchawy, zaworu odwadniającego biogaz, króćca wlotowego biogazu, z barbotką znajdującą się w pobliżu dna fermentatora. Pionowe rury otoczone są spiralą grzewczą, mającą postać rury z tworzywa sztucznego, usytuowaną w pobliżu ściany fermentatora. Spirala grzewcza połączona jest z pompą wody i wymiennikiem ciepła tworzące zamknięty obieg wody. w dolnej części fermentatora znajduje się króciec masy fermentującej, który za pośrednictwem przewodów rurowych i pompy masy fermentującej połączony jest z wspólnym króćcem doprowadzającym świeży substrat w postaci gnojowicy i masę fermentującą do fermentatora. Zewnętrzne powierzchnie ścian fermentatora pokryte są warstwą izolacji cieplnej. Fermentator posiada zawór bezpieczeństwa usytuowany w górnej części zbiornika.

W fermentatorze występują dwa obiegi cyrkulacyjne w przeciwprądzie. Biomasa, czyli świeży substrat w postaci gnojowicy przemieszcza się od góry do dołu. Mieszanie zawartości fermentatora dla uśrednienia jego składu realizowane jest za pomocą barbotażu i przy użyciu barbotki tworząc drugi obieg. Odbywa się to w ten sposób, że część biogazu pobierana jest z przestrzeni gazowej fermentatora i przesyłana za pomoca dmuchawy do dolnej części fermentatora przez barbotkę. Biogaz wypływa z barbotki w formie pęcherzyków i wędruje ku górze mieszając zawiesinę. Dodatkowo dla zwiększenia intensywności mieszania i wytwarzania biogazu część masy fermentującej zostaje transportowana, za pomocą instalacji zewnętrznej i pompy, z dolnej części fermentatora do jego górnej części. Masa fermentująca wspólnie z doprowadzonym do fermentatora świeżym substratem w postaci gnojowicy przemieszcza się w dół.

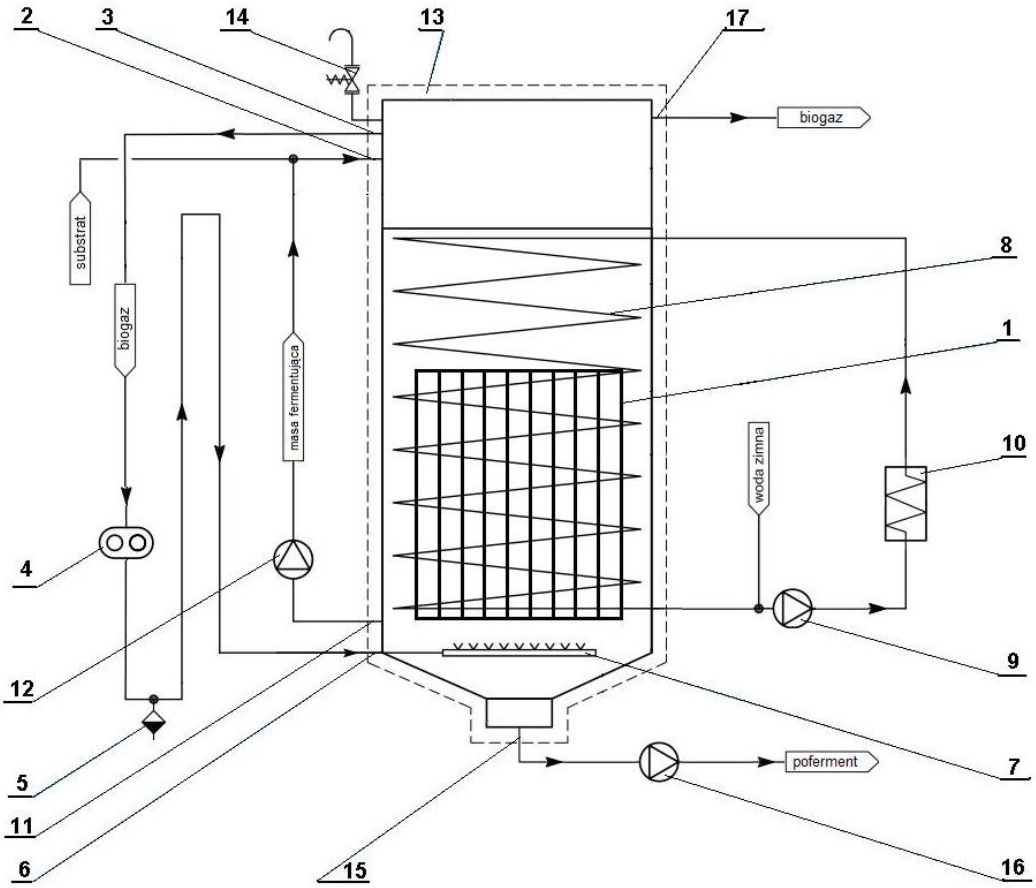
Zastosowany system mieszania w fermentatorze według wynalazku [MYCZKO I IN. 2018] zapewnia ujednorodnienie składu masy fermentacyjnej, jak również dostarczanie składników wspomagających jakościowo proces fermentacji. Poprawia się tym samym proces konwersji płynnej gnojowicy na biogaz, zapewniając w prosty i pewny sposób wydajną produkcję biogazu. Chropowate powierzchnie rur przyczyniają się do lepszego posadowienia flory bakterii fermentacyjnych.

Przedmiot wynalazku [MYCZKO I IN. 2018] uwidoczniony jest w przykładzie wykonania na rysunku 4 przedstawiającym schematycznie fermentator.

Fermentator, którego część cylindryczna usytuowana jest pionowo, zawiera wypełnienie w postaci pionowych rur 1 o chropowatej powierzchni wykonanych z tworzywa sztucznego. w górnej części fermentatora jest wspólny króciec 2, którym doprowadzana jest świeży substrat w postaci gnojowicy i masa fermentująca. Obok jest króciec wylotowy 3 biogazu, który połączony jest przewodem rurowym, za pośrednictwem dmuchawy 4, zaworu odwadniającego biogaz 5, króćca wlotowego 6 biogazu z barbotką 7. Barbotka usytuowana jest poziomo w pobliżu dna fermentatora. Pionowe rury 1, które zwiększają powierzchnię czynną dla flory bakterii fermentacyjnych, usytuowane są wewnątrz spirali grzewczej 8. Spirala grzewcza połączona jest z pompą wody 9 oraz wymiennikiem ciepła 10 tworząc zamknięty obieg wody zasilany okresowo z zewnątrz. w dolnej części fermentatora jest króciec wylotowy 11 masy fermentującej, który za pośrednictwem pompy masy fermentującej 12 połączony jest z wspólnym króćcem 2 doprowadzającym świeży substrat w postaci gnojowicy i masy fermentującej do fermentatora. Zewnętrzne ściany fermentatora pokryte są warstwą izolacji cieplnej 13. Fermentator posiada zawór bezpieczeństwa 14, główny króciec

wylotowy 15 pofermentu połączony z pompą pofermentu 16 oraz króciec wylotowy 17 biogazu, którym odprowadza się biogaz do dalszego wykorzystania.

Fermentator napełniany jest przez króciec 2 gnojowicą korzystnie w cyklu automatycznym zapewniając pionowe przemieszczanie się frakcji biofermentu przez cały zbiornik. Przez króciec ten okresowo przepływa również połączony z gnojowicą poferment. Część biogazu znajdująca się w przestrzeni gazowej fermentatora przemieszczana jest do barbotki i następnie w postaci pęcherzyków wędruje ku górze mieszając zawiesinę. Fermentator pracuje w temperaturze 35-40°C. Czynnikiem grzewczym jest ciepla woda przepływająca przez spiralę grzewczą. Głównym króćcem wylotowym pofermentu odbywa się spust pofermentu 2-3 razy dziennie. Podczas opróżniania nie napełnia się fermentatora. Następnie napełnia się fermentator gnojowicą taka objętością w jakiej został odprowadzony poferment. Poziom napełnienia fermentatora kontrolowany jest w cyklu automatycznym. Podczas napełniania ciśnienie wyrównuje się po samoistnym przepłynięciu biogazu króćcem wylotowym 17 do dalszej części instalacji.



Źródło: MYCZKO I IN. [2018].

Rys. 4.4. Schemat fermentatora

1 – rura, 2 – króciec, 3 – króciec wylotowy biogazu, 4 – dmuchawa, 5 – zawór odwadniający biogaz, 6 – króciec wylotowy biogazu, 7 – barbotka, 8 – spirala grzewcza, 9 – pompa wody, 10 – wymiennik ciepła, 11 – króciec wylotowy masy fermentującej, 12 – pompa masy fermentującej, 13 – izolacja cieplna, 14 – zawór bezpieczeństwa, 15 – główny króciec wylotowy pofermentu, 16 – pompa pofermentu, 17 – króciec wylotowy biogazu

W Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym oddział Poznań opracowano instalację pilotażową [WAŁOWSKI 2018b], schemat blokowy - rysunek 4.5a. Sposób preparacji substratu, produkcji i oczyszczania surowego biogazu oraz kogeneracji charakteryzuje się tym, że z centralnego zbiornika biomasy *0a* napełnia się zbiornik operacyjny *1a* płynnym substratem, miesza się całość i doprowadza się do góry króćcem do fermentatora *2*. Napełnianie fermentatora odbywa się w sposób zautomatyzowany przez system monitorowania sterowania procesem. Proces napełniania realizowany jest po wcześniejszym spuszczeniu przefermentowanej biomasy i odbywa się etapowo dwa lub trzy razy dziennie, łącznie dla fermentatora o pojemności 15 m^3–1,5 m^3/24h. Do sterowania poziomem substratu w fermentatorze służy sonda hydrostatyczna. Raz na dobę część pofermentu odprowadza się do zbiornika pozostałości 6, a w jego miejsce wprowadza się taką samą ilość świeżej biomasy. Fermentator napełnia się biomasą do góry, co zapewnia kierunkowe przemieszczanie się frakcji fermentu przez cały układ. Do mieszania zawartości fermentatora służy układ cyrkulacji pionowej biomasy oraz układ cyrkulacji świeżo pozyskanym gazem. Mieszanie zawartości fermentatora dla uśredniania jego składu realizowane jest za pomocą barbotek *2a*. Odbywa się to w ten sposób, że część biogazu pobiera się z przestrzeni gazowej fermentatora za pomocą dmuchawy i wprowadza poprzez zawór zwrotny do dolnej części fermentatora poprzez system barbotek. Gaz wypływa z barbotek w formie pęcherzyków i wędrując ku górze miesza zawiesinę. Część masy fermentującej transportuje się za pomocą instalacji zewnętrznej z dolnej części fermentatora do przewodu rurowego doprowadzającego świeży substrat do fermentatora. Wewnątrz fermentatora znajduje się wypełnienie dla flory bakterii fermentacyjnych. Fermentator ogrzewa się, za pomocą rury w postaci spirali grzewczej *2b*, ciepłą wodą, którą pobiera się z wymiennika ciepła *5a* znajdującego się przy kogeneratorze *3c*. Pomiar ciśnienia biogazu w fermentatorze, temperatury biomasy fermentującej odbywa się za pomocą czujników. Przy nadmiernym wzroście ciśnienia biogazu, wypuszcza się biogaz przez zawór bezpieczeństwa. Uzyskany w fermentatorze biogaz doprowadza się do systemu oczyszczania – uzdatniania biogazu składającego się z dwóch odsiarczalników *3b* wraz z wyposażeniem do regeneracji złoża. Biogaz przepływa na

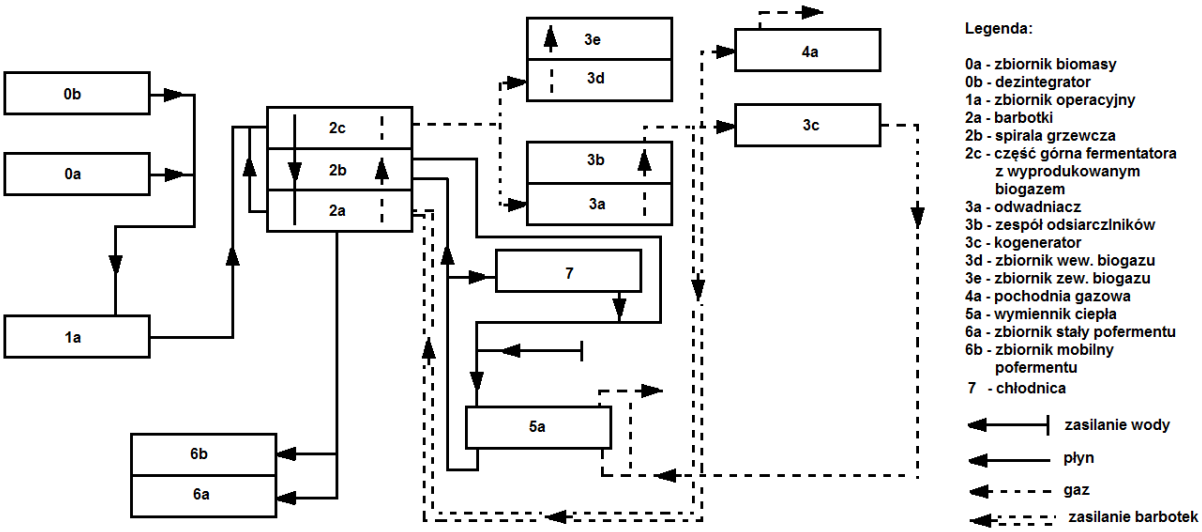
zmianę do jednego z dwóch odsiarczalników, w którym czyści się ze związków siarki. w tym czasie regeneruje się złoże drugiego odsiarczalnika. Aby usunąć nadmiar wilgoci w biogazie, przed odsiarczalnikami umieszcza się odwadniacz biogazu *3a*. Nadciśnienie biogazu w fermentatorze powoduje pokonanie oporów, szacowanych na 2÷3 kPa, jego przepływu przez odwadniacz i odsiarczalnik. Odsiarczony biogaz magazynuje się w zbiorniku *3d* pod nadciśnieniem, który wyposażony jest w bezpiecznik cieczowy zabezpieczający zbiornik gazu przed przekroczeniem dopuszczalnego nadciśnienia. Układ kontrolno-pomiarowy kontroluje gaz nieuzdatniony oraz skład chemiczny gazu uzdatnionego, który informuje głównie o stężeniu siarkowodoru w biogazie. Uzdatniony biogaz kieruje się przez dmuchawę do kogeneratora *3c* celem konwersji na energię elektryczną oraz cieplną. Przy kogeneratorze, składającym się z silnika paliwowego oraz generatora energii elektrycznej, znajduje się wymiennik ciepła *5a* ogrzewany spalinami. Ogrzewaną wodę w wymienniku ciepła doprowadza się między innymi do spirali grzewczej *2b* znajdującej się przy wewnętrznej ścianie fermentatora. Układ grzewczy fermentatora ma za zadanie utrzymanie wymaganej temperatury substratu. Czynnik grzewczy w postaci wody o temperaturze około 65°C przepływa pomiędzy wymiennikiem ciepła *5a* znajdującym się przy kogeneratorze a spiralą grzewczą *2b* aż do uzyskania ustalonej temperatury masy fermentacyjnej w zakresie 35-40°C. Nadmiar ciepła również przepływa przez chłodnicę *7*. w przypadku awarii lub wyłączenia kogeneratora czujnik ciśnienia zasygnalizuje wzrost ciśnienia i przesyła sygnał sterujący do elementu automatyki sterującym zaworem trójdrogowym i wówczas gaz zasila pochodnię gazową *4a*. Podczas braku lub zaniku płomienia w pochodni gazowej zostanie automatycznie odcięte zasilanie pochodni biogazem.

Sposób użytkowania instalacji znacznie poprawia proces konwersji płynnej biomasy, zwłaszcza gnojowicy zwierząt hodowlanych, na wysokokaloryczny biogaz i w kogeneracji zamianę jego na energię elektryczną oraz cieplną. Można prostym i pewnym w eksploatacji sposobem produkować biogaz przy budynku inwentarskim. Sposób przyczynia się do ochrony środowiska w aspekcie odoru oraz racjonalnego zagospodarowania energii skumulowanej w odchodach.

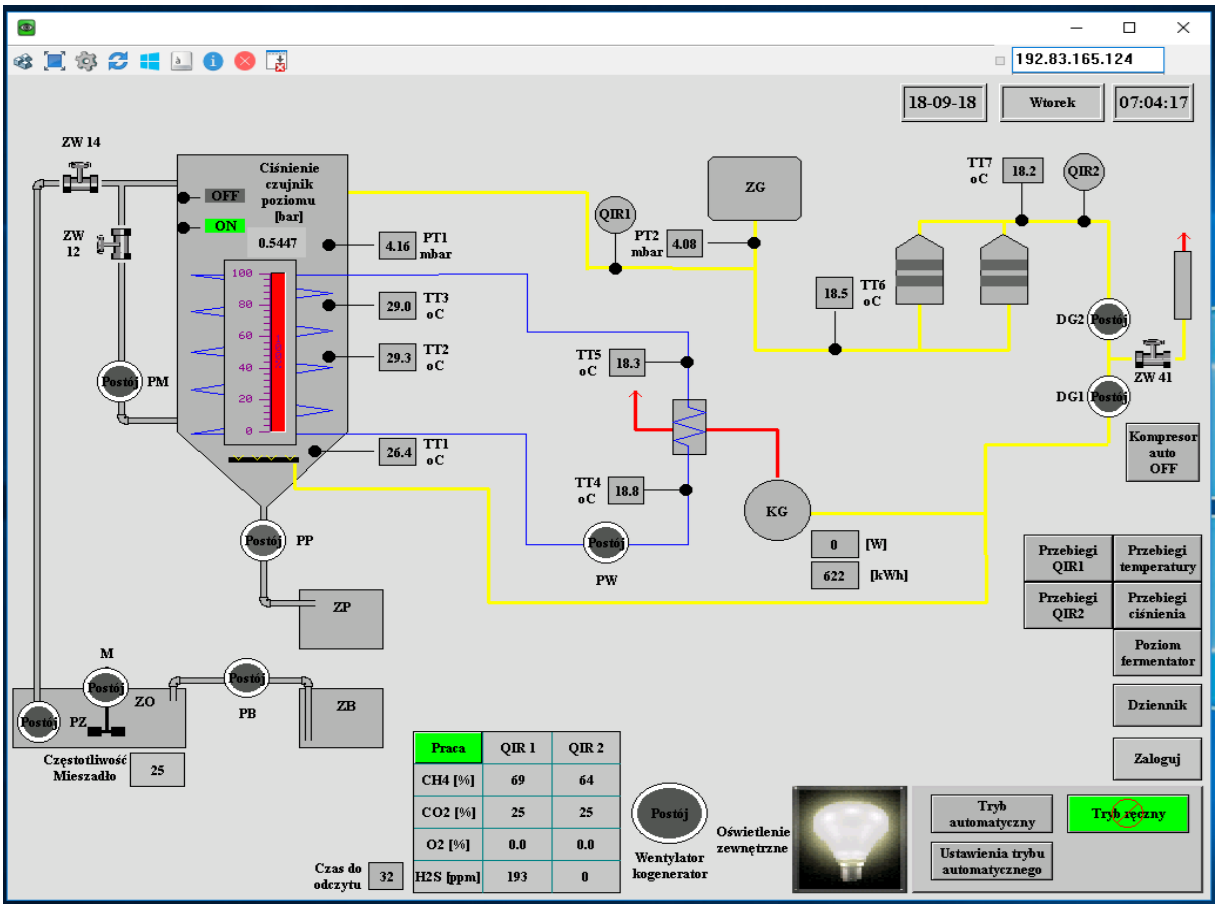
Pilotażową produkcję biogazu przy zastosowaniu gnojowicy świńskiej zlokalizowano na terenie gospodarstwa rolnego posiadającego 1100 tuczników utrzymywanych w systemie rusztowym.

Węzeł produkcji surowego biogazu stanowi system transportu biogazu produkowanego w zbiorniku fermentacyjnym wraz z wyposażeniem, umożliwia prowadzenie procesu fermentacji, jego kontrolę i regulację (rys. 4.5b).

a)



b)



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 4.5. Instalacja prototypowa produkcji biogazu:

a) schemat blokowy stanowiska badawczego,

b) plansza synoptyczna układu sterowania i wizualizacji biogazowni (oprogramowanie Ultra VNC):

DG – dmuchawa gazu, KG – kogenerator, M – mieszadło, PB – pompa biomasy, PM –

pompa mieszająca, PP – pompa pofermentu, PW – pompa wody, PT – ciśnienie, PZ – pompa zatapialna, QIR – analizator gazu, TT – temperatura, ZB – zbiornik biomasy, ZG – zbiornik gazu, ZO – zbiornik operacyjny, ZP – zbiornik pofermentu, ZW – zawór

Zbiornik fermentacyjny (fot. 4.1) - jest zaprojektowany dla układu w pozycji pionowej. Dno zbiornika jest w kształcie stożka ściętego z centralnie umieszczonym spustem. Szczelność zbiornika fermentacyjnego zapewnia pokrywa zamykająca fermentator wraz z elementem uszczelniającym.

Źródło: Wałowski G.

Fot. 4.1. Reaktor przepływowy monosubstratowy do fermentacji metanowej gnojowicy wraz z instalacją do produkcji biogazu -widok

System cyrkulacji - opis pracy układu. Zbiornik fermentacyjny napełniany jest biomasą od góry, co zapewni kierunkowe przemieszczanie frakcji fermentu przez cały układ. Do mieszania zawartości zbiornika fermentacji służy układ cyrkulacji pionowej biomasy oraz układ cyrkulacji świeżo pozyskanym biogazem. Zastosowany system mieszania biomasy zapewnia ujednorodnienie składu i temperatury fermentu, jak również dostarczenie określonych składników wspomagających jakościowo proces fermentacji. Mieszanie zawartości fermentatora dla uśredniania jego składu realizowane jest za pomocą barbotażu. Odbywa się to w ten sposób, że część biogazu pobierana jest z przestrzeni gazowej

fermentatora za pomocą dmuchawy i wprowadzana poprzez zawór zwrotny do dolnej części bioreaktora poprzez system barbotek. Gaz wypływa z barbotek w formie pęcherzyków i wędrując ku górze miesza zawiesinę.

System immobilizacji - opis pracy układu. Wewnątrz zbiornika fermentacyjnego znajduje się wypełnienie tj. złoże szkieletowe wykonane z pionowych rur (materiał PVC) stanowiące tzw. „kosz" (fot. 4.2), którego rolą jest zwiększenie powierzchni czynnej dla flory bakterii fermentacyjnych. Wypełnienie znajduje się na wysokości 1,22 m od dna zbiornika, tzw. „kosz" oparty jest na podporach, które jednocześnie centrują go względem osi układu.

a) b)

Źródło: Wałowski G.

Fot. 4.2. Złoże szkieletowe: a) wykonane z pionowych rur - widok, b) zalane wodą dla prób ciśnienia - widok

System ogrzewania - opis pracy układu. Na wewnętrznej ścianie zbiornika fermentacyjnego umieszczono spiralę grzewczą w postaci rury o średnicy DN32 wykonanej z tworzywa sztucznego. Czynnikiem grzewczym jest ciepła woda pobierana z wymiennika ciepła głównego umieszczonego przy kogeneratorze. Dla zapewnienia optymalnych warunków powstawania biogazu, ścianki, dno stożkowe i pokrywa fermentatora są zaizolowane dla ograniczenia emisji ciepła na zewnątrz. Optymalne warunki pracy fermentatora to temperatura 35÷40°C, nadciśnienie gazu 10÷20 kPa.

W czasie rozruchu [WAŁOWSKI 2018a; WAŁOWSKI 2018b] trwającego 10 dni stosowano sterowanie ręczne [PROTOKÓŁ... 2018]:

- ogrzewania cieczy cyrkulacyjnej komory fermentacyjnej,
- pompowania substratu do zbiornika wstępnego,

- regulacji ciśnienia w instalacji gazowej,
- dozowania dodatków stabilizujących natężenia masowego przepływu biogazu,
- poziomu zapełnienia zbiornika wstępnego.

Sterowanie automatyczne wprowadzano stopniowo na odcinku:
- cyrkulacji cieczy fermentacyjnej w komorze fermentacyjnej,
- dozowania substratu dokarmiającego do komory fermentacyjnej,
- oceny poziomu zapełnienia komory fermentacyjnej, składu biogazu i parametrów analitycznych cieczy technologicznych.

Rozruch przeprowadzono na inoculum typu ciecz pofermentacyjna z instalacji biogazowej z województwa wielkopolskiego o parametrach analitycznych procesu: temperatura 27,2°C, pH 8, sucha masa 4,37% śm, sucha masa organiczna 62,25% sm, OWN 17,641 mg/l, LKT 3,117 mg CH_3COOH/l, APB 0,177 dla objętości startowej 10m^3.

Substrat płynny stanowiła gnojowica tuczników o parametrach analitycznych procesu: temperatura 26,5-30,5°C, pH 7,8-8,0, sucha masa 3,92% śm, sucha masa organiczna 66,70% sm, OWN 19,678 mg/l, LKT 8,958 mg CH_3COOH/l, APB 0,450 dla objętości dokarmiającej (250-500) litrów.

W efekcie otrzymano ciśnienie gazu w instalacji 15-25 mbar oraz stężenie składników biogazu: CH_4 57,3%, CO_2 28,5%, O_2 0,3%, H_2S 232 ppm.

Materiał badawczy wykonano ze złoża szkieletowego (72 rury - rys. 4.6a) o parametrach: wysokość h_z = 2030 mm; średnica d_z = 1620 mm; objętość złoża V_z = 0,4564 m^3; porowatość złoża ε = 10,91%, $\varepsilon \approx 0,11$; powierzchnia przekroju A_z = 0,2266 m^2. Elementem podstawowym szkieletu była rura (1 pozycja to pozorna jednostka złoża podstawowego): - wysokość h_r = 2030 mm; średnica d_r = 160 mm; objętość rury (pierścienia) V_r = 0,00634 m^3.

Eksperymentalne badania przepływu gazu przez złoże adhezyjne

Eksperymentalne badania dotyczyły systemu pomiarowego do oceny ilości biogazu w warunkach procesu produkcji biogazu. Badania przeprowadzono w zakresie pomiaru natężenia przepływu biogazu wynikającego z ciśnienia odniesienia w fermentorze. Przeprowadzono niezależną ocenę ilości biogazu i spadku ciśnienia na złożu szkieletowym.

Podstawą oceny hydrodynamiki przepływu gazu przez złoże adhezyjne jest charakterystyka przepływu (rys. 8), jaka wynika z ciśnienia wymuszającego ten przepływ. w każdym przypadku wyznaczenie tej charakterystyki polega na określeniu wpływu strumienia biogazu

na wartość tego nadciśnienia, równoważnego spadkowi ciśnienia - jest to równoznaczne z wyznaczeniem całkowitych oporów przepływu biogazu przez złoże adhezyjne.
Aby zrozumieć warunki hydrodynamicznego układu mieszania substratu w złożu adhezyjnym (fot. 4.3), przeprowadzono badania eksperymentalne [WAŁOWSKI 2018a; WAŁOWSKI 2018b] w celu oceny przepływu biogazu przez złoże adhezyjne w kontekście produkcji biogazu.

Źródło: Wałowski G.

Fot. 4.3. Układ mieszania w reaktorze - tłoczenie czynnika inertnego podczas próby szczelności

Przy ocenie oporów przepływu najczęściej korzysta się z analogii do przepływu przez kanały zamknięte zgodnie z równaniem Darcy'ego i Weisbacha [STRZELECKI I IN. 2008]. Natomiast współczynnik oporów przepływu ((1) jest opisany jako funkcja liczby Reynoldsa (2):

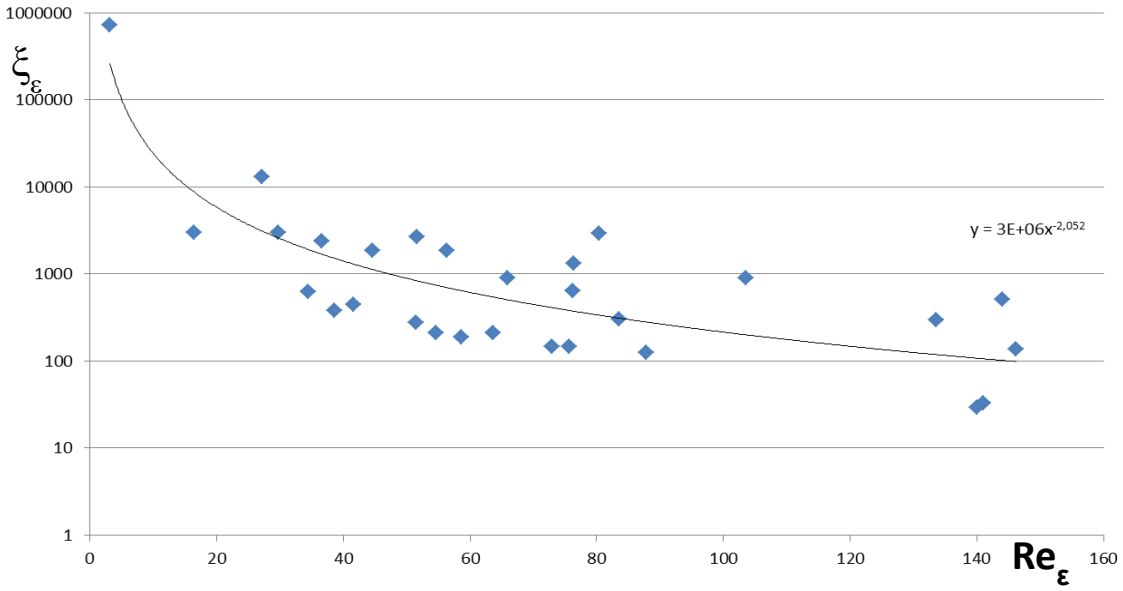
$$\xi_{\varepsilon} = \frac{w_{\varepsilon} d_{\varepsilon} \rho_{\varepsilon}}{\rho_{\varepsilon} w_{\varepsilon}^{2}} \qquad (1)$$

gdzie: ρ – gęstość, kg/m^3; w - prędkość, m/s; ΔP - opory przepływu, Pa, indeks: g - gaz, ε - ekwiwalentny; zm - zmierzony

$$Re_{\varepsilon} = \frac{w_{\varepsilon} d_{\varepsilon} \rho_{\varepsilon}}{\eta_{\varepsilon}} \qquad (2)$$

gdzie: w - prędkość, m/s; d - średnica, m; ρ – gęstość, kg/m^3; η – lepkość, Pas; indeks: g - gaz, ε - ekwiwalentny

Interpretując rysunek 4.6 wskazać należy, że zachodzi nieliniowa tendencja charakterystyczna dla dominacji przepływu burzliwego - związane jest to z odstępstwem od prawa Darcy'ego [STRZELECKI I IN. 2008].



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 4.6. Wpływ liczby Reynoldsa na zstępczy współczynnik oporów przepływu biogazu dla złoża adhezyjnego

W kontekście liczby kryterialnej dla warunków hydrodynamicznych opisano zagadnienie przepływu biogazu przez adhezyjne złoże. Dokonano eksperymentalnego badania nad hydrodynamika mieszania substratu w fermentatorze monosubstratowym i oceniono zjawisko hydrodynamiczne wynikające ze spadku ciśnienia przepływu gazu. w pracy przedstawiono wstępne wyniki badań doświadczalnych, które wskazują na wyraźny wpływ oporów przepływu w stosunku doliczby Reynoldsa. Stwierdzono, że produkcja biogazu przy zastosowaniu złoża adhezyjnego jest określona przez charakterystyczne parametry: stopień porowatości dla przepływu gazu oraz liczbę Reynoldsa, która wraz ze wzrostem powoduje spadek zstępczego współczynnika oporów przepływu biogazu. Uwzględniając wskazane parametry można w ten sposób opracować model oraz metodykę

Podstawą do szczegółowej analizy przepływu płynów w ośrodkach porowatych jest nadal prawo Darcy'ego [STRZELECKI I IN. 2008]. w swojej pierwotnej formie opisuje warunki przepuszczalności różnych rodzajów złoża ziarnistego w odniesieniu do mechanizmu filtracji podczas laminarnego przepływu wody przez warstwę piasku, która stanowi model ziarnistego ośrodka. Jeżeli weźmie się pod uwagę zmienność właściwości cieczy, prędkość przez porowate złoże będzie proporcjonalna do zmiany gęstości (ρ) i odwrotnie proporcjonalna do zmiany lepkości (η) [STRZELECKI I IN. 2008]. Równanie Darcy opisujące przepuszczalność (Q) porowatego złoża przyjmuje następującą formułę (3):

$$Q = K A_o \frac{\rho \hat{g}}{\eta} \frac{\Delta h}{L} \tag{3}$$

gdzie: K - współczynnik przepuszczalności, m^2; A_o - pole przekroju, m^2; ρ – gęstość, kg/m^3; g – przyśpieszenie ziemskie, m/s^2; Δh - różnica ciśnień, Pa; η – lepkość, Pas; L -wysokość złoża, m;

Formuła (3) pozostaje jedną z cech współczesnego opisu tego zjawiska, chociaż odnosi się tylko do przepływu laminarnego. Współczynnik (K) w równaniu (3) opisuje tak zwaną przepuszczalność porowatego ośrodka, a jego wartość, jak pokazano w modelu Darcy'ego, jest charakterystyczna dla danego ośrodka porowatego. Ponieważ ten współczynnik (z definicji) ma wymiar powierzchniowy, jego wartość z hydrodynamicznego punktu widzenia - jako charakterystyczny wymiar - jest bardzo często uważana za pewną geometryczną cechę, która charakteryzuje całkowitą przepuszczalność porowatego materiału. z drugiej strony, wartość takiej przepuszczalności zależy nie tylko od charakterystyki filtracyjnej porowatego ośrodka (jego budowy, wielkości cząstek, ich gęstości, porowatości itp.), Ale również od fizycznych właściwości płynu, a zwłaszcza jego lepkości [WALUK 1973]. z reguły współczynnik ten nie zależy od kształtu i wielkości samego złoża. Oczywiście model Darcy odnosi się również do opisu przepływów ciśnienia dla równania (3) otrzymamy (4):

$$Q = K A_o \frac{\Delta P}{\eta L} \quad => \quad K = \eta \frac{Q}{A_o} \frac{L}{\Delta P} \tag{4}$$

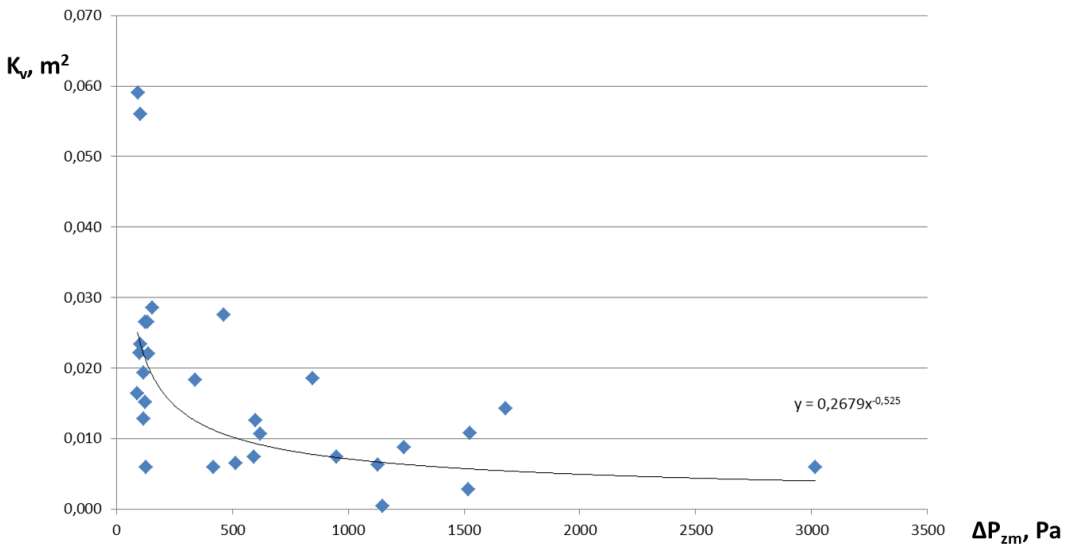
Równanie (4) pokazuje, że dla danego objętościowego natężenia przepływu (Q) przepuszczalność porowatego złoża można określić za pomocą eksperymentów, jeśli znane są właściwości płynu (η) i parametry geometryczne układu przepływowego (A_o). Spadek ciśnienia (ΔP) na złożu jest wartością eksperymentalną. Jeżeli znane są parametry hydrodynamiczne (natężenie przepływu, spadek ciśnienia, porowatość materiału i rodzaj gazu), wartość współczynnika przenikalności można określić za pomocą eksperymentów. Następnie relację (4) można zapisać jako:

$$K_V = \frac{Q_g}{\sqrt{\frac{\Delta P_{zm}}{\rho_g}}} \tag{5}$$

gdzie: K_V - współczynnik gazoprzepuszczalności (model własny), m^2; Q - strumień natężenia gazu, m^3; ΔP - ciśnienie, Pa; ρ – gęstość, kg/m^3.

Podstawą oceny hydrodynamiki przepływu gazu przez złoże adhezyjne jest charakterystyka gazoprzepuszczalności [WAŁOWSKI 2018b] (rys. 10), jaka wynika z ciśnienia wymuszającego ten przepływ. w każdym przypadku wyznaczenie tej charakterystyki polega na określeniu wpływu strumienia biogazu na wartość tego nadciśnienia, równoważnego spadkowi ciśnienia - jest to równoznaczne z wyznaczeniem całkowitych oporów przepływu biogazu przez złoże adhezyjne.

Interpretując rysunek 4.7 wskazać należy, że zachodzi nieliniowa tendencja charakterystyczna dla dominacji przepływu burzliwego - związane jest to z odstępstwem od prawa Darcy'ego [STRZELECKI I IN. 2008].



Źródło: opracowanie własne.

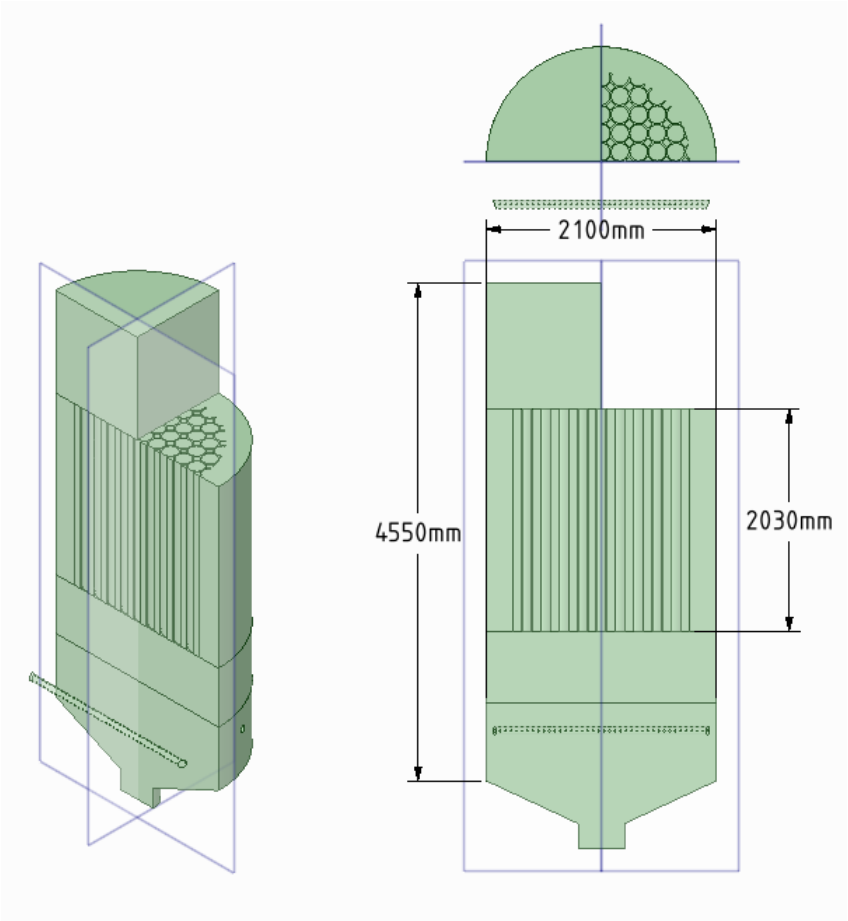
Rys. 4.7. Wpływ oporów przepływu (ΔP_{zm}) na współczynnik gazoprzepuszczalności (K_V) złoża adhezyjnego - rozkład punktów doświadczalnych

Interpretacja mechanizmu przepływu biogazu przez adhezyjne złoże w analogii do gazoprzepuszczalności dla modelu strukturalnego materiału porowatego - pozwoliła rozpoznać problem przepuszczalności gazu. Opisano zagadnienie mechanizmu przepływu biogazu przez adhezyjne złoże. Dokonano eksperymentalnego badania nad przepuszczalnością gazową materiału i oceniono zjawisko hydrodynamiczne wynikające ze spadku ciśnienia przepływu gazu. w pracy przedstawiono wstępne wyniki badań

doświadczalnych, które wskazują na wyraźny wpływ oporów przepływu w stosunku do współczynnika gazoprzepuszczalności złoża. Stwierdzono, że skala przepuszczalności szkieletowego materiału jest określona przez charakterystyczne parametry, takie jak stopień porowatości dla przepływu gazu oraz współczynnik gazoprzepuszczalności.

Ocena hydrodynamiki płynu w fermentatorze przez strukturę szkieletową w aspekcie numerycznego modelowania

Geometria obiektu (rys. 4.8) - została stworzona w programie *Space Claim Direct Modeller* na podstawie dokumentacji wykonawczej fermentatora. Geometria uwzględnia rurę wlotową oraz wylotową gnojowicy, pęk rur, oraz rurki do barbotażu.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 4.8. Geometria analizowanego fermentatora

Siatka numeryczna stworzona została w programie *ANSYS Meshing*. Ze względu na wielkość modelu zrezygnowano z generowania warstwy przyściennej co może wpłynąć na dokładność

uzyskanych wyników. w większości objętości wygenerowano siatkę sześciościenną. Aby to uzyskać dokonano dekompozycji geometrii na mniejsze – prostsze bryły.

Model przepływowy zdefiniowany został w programie *ANSYS Fluent*. Poniżej przedstawiono podstawowe informacje o modelu przepływowym:

a) przepływ turbulentny - model *RANS* z opcją Enchanced wall treatment;

b) przepływ dwufazowy w podejściu *Volume of Fluid* w sformułowaniu *explicit*;

c) algorytm obliczeniowy *SIMPLE*;

d) drugi rząd dyskretyzacji równania pędu;

e) algorytm *Geo-Reconstruct* śledzenia granicy międzyfazowej;

f) bieżność kontrolowana za pomocą obserwacji residuów.

Parametry płynów:

a) gnojowica świńska: gęstość – 998,2 [kg/m^3], lepkość - 0,0015 [kg/ms] (o 50% większa niż wody);

b) gaz modelowany jako powietrze: gęstość – 1,225 [kg/m3], lepkość - 1,7894e-05 [kg/ms];

c) siły zewnętrzne – grawitacja 9,81 [m/s^2];

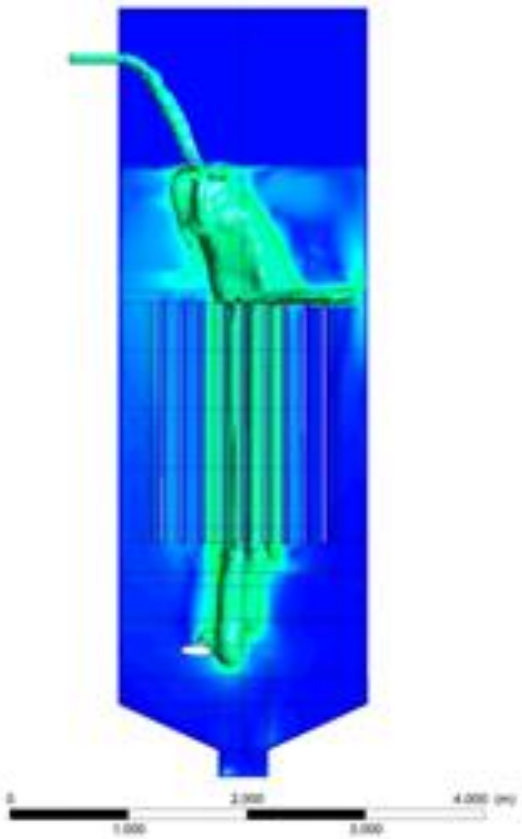
Warunki brzegowe:

a) wlot gnojowicy: 7,209222 kg/s;

b) intensywność turbulencji na wlocie: 5%;

c) stosunek lepkości turbulentnej na wlocie: 10.

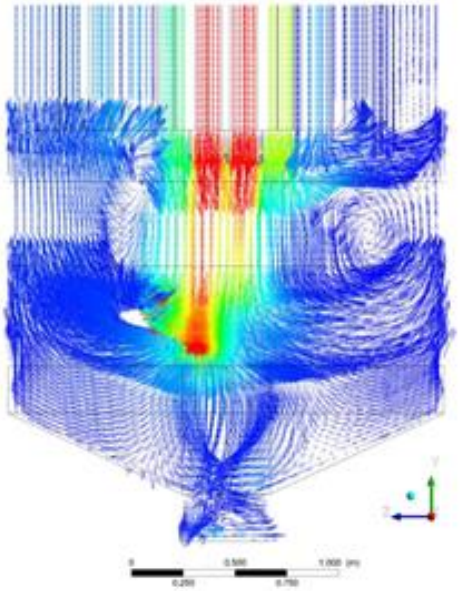
Uzyskane wyniki przeanalizowano i stworzono następujące wizualizacje. Przedstawiono obszar penetracji strumienia wpuszczanej gnojowicy do fermentatora (rys. 4.9). Zauważyć można, że główny przepływ następuje w kilku wybranych rurkach stanowiących złoże adhezyjne. Przepływ wymusza recyrkulację gnojowicy w większości objętości fermentatora.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 4.9. Izopowierzchnia prędkości 0.1 m/s – widok jakości głównego obszar mieszania i miejsca występowania największych prędkości

Zaobserwowano strefę recyrkulacji (rys. 4.10), która może wskazywać na bardzo ograniczone mieszanie w tej części fermentatora. Zaobserwowano, że przez nieliczne rurki przepływ jest z góry na dół, a dla większości rurek przepływ zachodzi z dołu do góry.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 4.10. Wektory prędkości na przekroju Y-Z, widok strefy recyrkulacji

Wskazano na wartości prędkości według kolejnych przekrojów poprzecznych przez fermentator - można zauważyć rurki, w których występuje największy przepływ.

Analiza uzyskanych wyników wskazuje na ograniczenia symulacji. Wykonane symulacje cechują się następującymi ograniczeniami mającymi wpływ na ich dokładność (uporządkowane od najbardziej znaczących):

- gnojowica zamodelowana jako płyn o stałej lepkości. z danych literaturowych wynika że lepkość gnojowicy zależy mocno od jej składu oraz, że wykazuje silne właściwości płynu nie-Newtonowskiego.

Lepkość jest zależna od naprężeń stycznych:

- przy modelowaniu pęku rur pominięto niewielkie przestrzenie pomiędzy rurami;
- wygenerowana siatka nie posiada warstwy przyściennej.

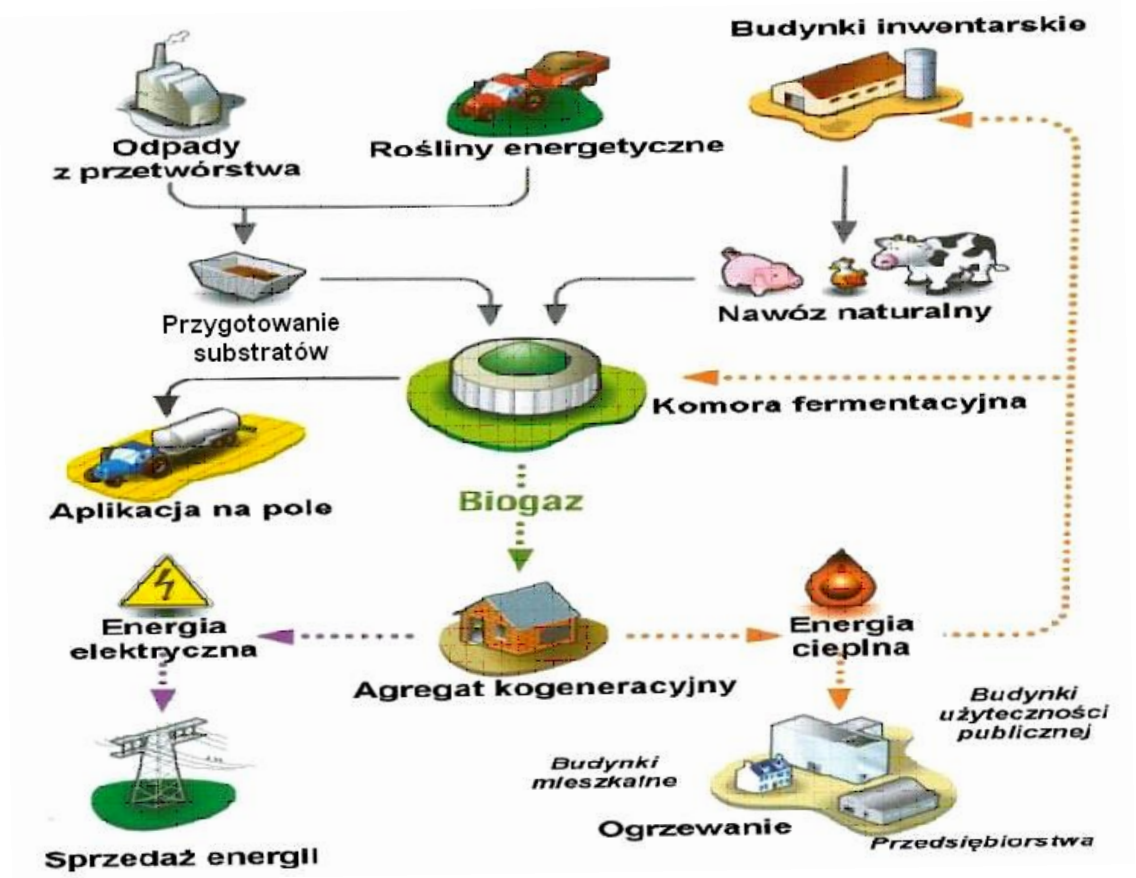
Największy wpływ na dokładność modelowania ma gnojowica, natomiast z opracowanych wyników można uzyskać jakościowe informacje o przebiegu mieszania hydrodynamicznego zachodzącego w fermentatorze ze złożem szkieletowym.

g. Właściwości i zagospodarowanie pofermentu z fermentacji osadów ściekowych i odpadów komunalnych, w tym kompostowanie

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) cieplnej. 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.

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.

Kompostowanie

Kompostowanie jest ściśle związane z kulturą agrarną i działaniami dążącymi do poprawy właściwości gleby w celu wzrostu roślin. Pod pojęciem poprawy właściwości gleby należy rozumieć zarówno poprawę jej właściwości chemicznych, jak również właściwości fizycznych. W wyniku stosowania kompostu przy nawożeniu gleby nie tylko następuję jej wzbogacenie w substancję organiczną i składniki pokarmowe dla roślin, ale także następuje poprawa struktury gleby, zwłaszcza jej właściwości sorpcyjnych i powietrzno-wodnych. W 2006 roku Komisja Wspólnot Europejskich w kierunkowej strategii ochrony gleb[1] wymienia nawożenie kompostem jako jeden z elementów przeciwdziałania jej degradacji. W ostatnich latach kompostowanie w warunkach Unii Europejskiej zyskało jeszcze jeden istotny wymiar. Tlenowy rozkład substancji organicznych w procesie kompostowania to jedyna racjonalna metoda recyklingu odpadów organicznych pochodzących z różnych źródeł. Priorytetowym działaniem w hierarchii gospodarowania odpadami jest odzysk, w tym recykling, do którego zalicza się ponowne przetwarzanie materiału organicznego[2]. Bezpośrednim nawiązaniem do hierarchii postępowania z odpadami jest konieczność ograniczenia składowania odpadów organicznych na składowiskach odpadów, aż do całkowitej eliminacji takiego sposobu ich zagospodarowania[3]. Kompostowanie to dobra metoda przetwarzania odpadów organicznych, w której wykorzystuje się w warunkach sztucznych procesy zachodzące powszechnie w naturze. Różnorodność rodzajów odpadów przeznaczonych do procesu kompostowania i

[1] Komisja Wspólnot Europejskich, 2006: Komunikat Komisji do Rady, Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów. Strategia tematyczna w dziedzinie ochrony gleby, Bruksela

[2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy (Dz. U. UE L312/3 ze zm.)

[3] Dyrektywa Rady 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów (Dz. U. UE L182 ze zm.)

źródeł ich pochodzenia z jednej strony świadczy o dużych możliwościach w doborze komponentów do procesu, z drugiej strony, o skali problemu w gospodarce odpadami biodegradowalnymi [Anders, Łomotowski, 2008].

Z przeglądu literatury wynika, że doświadczenia w doborze komponentów do kompostowania i charakterystyka wartości nawozowych kompostów wyprodukowanych z odpadów stanowią główne tematy badawcze w zakresie tlenowego recyklingu organicznego [Anders, Rząsa, 2007; Anders, Alwaeli, 2015; Guerra-Rodríguez i in., 2001; Hasan i in., 2012; Leroy i in., 2007; Sæbøa A. i Ferrini F., 2006; Saha i in., 2010; Schröder, 2005;Wong i in., 1999].

Wydawać by się mogło, że znajomość zjawisk zachodzących w warunkach naturalnych w procesach rozkładu materii organicznej wystarczy do rozwiązań technologicznych kompostowni w warunkach przemysłowych. Tymczasem duże nagromadzenie odpadów pochodzących z różnych źródeł w jednym miejscu, wykorzystywanie odpadów żywności, i uciążliwości środowiskowe powstające podczas trwania procesu czynią z pozoru prosty proces rozkładu tlenowego poprzez kompostowanie, skomplikowaną i wymagającą technologią przetwarzania odpadów organicznych.

1. Źródła odpadów wykorzystywanych do kompostowania

Do procesu kompostowania może być wykorzystywana szeroka gama odpadów organicznych, ulegających biodegradacji o różnych źródłach pochodzenia. Komponentami do procesu mogą być również odpady, które są wyłącznie nośnikiem substancji organicznych i same trudno byłoby poddać procesowi tlenowego rozkładu, np. pofiltracyjna ziemia okrzemkowa jako odpad pochodzący z browarnictwa. Niektóre odpady, pomimo dużej zawartości substancji organicznej (np. osady ściekowe) i dużego potencjału do rozkładu tlenowego, muszą być poddawane procesowi kompostowania z dodatkami osuszającymi i rozluźniającymi. Ważnym aspektem przy sporządzaniu mieszanek kompostowych i nagromadzeniu odpadów organicznych z różnych źródeł pochodzenia jest odpowiednie bilansowanie odpadów w przygotowywanych mieszankach kompostowych, zwłaszcza pod względem udziału węgla organicznego i azotu. Głównym źródłem odpadów organicznych, które mogą zostać przeznaczone do procesu rozkładu tlenowego poprzez kompostowanie są:

- rolnictwo, sadownictwo, uprawy hydroponiczne, rybołówstwo, leśnictwo i łowiectwo,
- przetwórstwo żywności, gastronomia, kuchnie żywienia zbiorowego i gospodarstw domowych,
- przetwórstwo drewna oraz produkcja płyt i mebli, masy celulozowej, papieru i tektury,

- przemysł skórzany, futrzarski i tekstylny,
- oczyszczanie ścieków, uzdatnianie wody,
- instalacje zagospodarowania odpadów i gospodarka komunalna – oczyszczanie parków, ogrodów, cmentarzy, targowisk.

Wymienione źródła i odpady organiczne z nich powstające to rezerwuar substancji organicznych o różnym składzie i tempie rozkładu. Bardzo dobrą podatnością na rozkład biologiczny charakteryzują się: cukier, skrobia, chemicelulozy oraz mucyna (białko złożone z grupy glikoprotein). Dużą podatność na rozkład wykazują: celuloza, tłuszcze, woski. Trudną i bardzo złą podatnością na rozkład organiczny charakteryzują się ligniny i keratyna (białko fibrylarne) [Bilitewski in., 2006].

W związku z powyższym identyfikacja źródła powstawania odpadów organicznych, ich potencjalny skład może w znacznym stopniu ułatwić i usprawnić proces kompostowania.

Szczególnym źródłem powstawania odpadów, powodującym jednocześnie specyficzne warunki prowadzenia procesu kompostowania są odpady kuchenne zarówno z kuchni zbiorowego żywienia jak i kuchni indywidualnych. Jest to niezmiernie ważny rodzaj odpadów z punktu widzenia gospodarowania odpadami organicznymi z jednej strony, z drugiej zaś odpad, który przy prawidłowej jego przeróbce w procesie tlenowym wpływa w sposób pozytywny na wartość wyprodukowanych nawozów organicznych. Z prowadzonych badań autorów nad kompostowaniem różnych mieszanek kompostowych, w tym tych zawierających odpady kuchenne z kuchni indywidualnych wynika, że dodatek odpadów kuchennych powoduje podwyższenie odczynu pH nawozu oraz zwiększenie zawartości fosforu i potasu w produkcie.

Sposób przetwarzania odpadów kuchennych w krajach Unii Europejskiej, które wdrożyły rozporządzenie UE[4] bez dodatkowych, krajowych regulacji prawnych wymaga spełnienia następujących warunków, ze względu na zaliczenie tych odpadów do odpadów pochodzenia zwierzęcego[5]:

- zamkniętego reaktora do kompostowania,

[4] Rozporządzenie (WE) Nr 1069/2009 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 października 2009 roku określające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego nie przeznaczonych do spożycia przez ludzi i uchylające rozporządzenie 1774/2002 zaliczane są do materiału kategorii III odpadów pochodzenia zwierzęcego (Dz. U. UE L3000.

[5] Rozporządzenia Komisji (UE) Nr 142/2011 z dnia 25 lutego 2011 r. w sprawie wykonania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 1069/2009 określającego przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi, oraz w sprawie wykonania dyrektywy Rady 97/78/WE w odniesieniu do niektórych próbek i przedmiotów zwolnionych z kontroli weterynaryjnych na granicach (Dz. U. UE L54)

- instalacji do monitorowania temperatury w czasie,
- urządzenia do rejestracji, wyników pomiarów temperatury w ramach monitorowania,
- odpowiedniego systemu zabezpieczającego przed niedostatecznym ogrzewaniem materiału wsadowego.

Przetwarzanie odpadów kuchennych ulegających biodegradacji to nie tylko wymienione wymagania technologiczne, ale również wymagania procesowe[2]:

- maksymalna wielkość cząstek przed wprowadzeniem ich do reaktora kompostującego: 12 mm,
- minimalna temperatura całego materiału w reaktorze: 70° C; oraz
- minimalny czas bez przerw w temperaturze 70° C: 60 minut.

Sugerowana maksymalna wielkość cząstek w przypadku odpadów kuchennych budzi kontrowersje. Z badań prowadzonych nad składem morfologicznym tego rodzaju odpadu [Anders, Łomotowski, 2008; Anders, 2015], wynika, ze faktyczna zawartość odpadów pochodzenia zwierzęcego wchodząca w skład odpadów kuchennych ulegających biodegradacji to 3-5%. Pozostała zawartość tego rodzaju odpadu to miękka organika roślinna, która przy tak dużym rozdrobnieniu tworzy zbitą masę, niesprzyjającą prowadzeniu procesu tlenowego i wymagającą dużego dodatku materiału rozluźniającego (strukturotwórczego).

2. Podstawowe informacje o procesie

Kompostowanie, to sumaryczna reakcja licznych procesów zachodzących podczas tlenowego rozkładu substancji organicznych przy udziale mikroorganizmów. W warunkach sztucznych, tworzonych na potrzeby budowy instalacji kompostowania odpadów zachodzą procesy biochemiczne zbliżone do tych, jakie mają miejsce w warunkach naturalnych, przy tworzeniu warstwy próchniczej gleb z martwej materii organicznej [Hsu i Lo, 1999]. Zasadniczą rolę w procesie kompostowania odgrywają mikroorganizmy, głównie tlenowe, ale kompostujące odpady zasiedla również niewielka liczba beztlenowców. Mówiąc o prawidłowym prowadzeniu procesu kompostowania należy mieć na uwadze stworzenie jak najlepszych warunków dla rozwoju mikroorganizmów przetwarzających odpady organiczne. Głównymi czynnikami wpływającymi na aktywność mikrobiologiczną w procesie rozkładu tlenowego poprzez kompostowanie są: dostępność tlenu i wilgoci. Kompostowanie jest procesem, w którym głównie uczestniczą mikroorganizmy tlenowe i w całym swoim przebiegu, proces wymaga dostarczania tlenu. Dostępność tlenu dla mikroorganizmów reguluje porowatość materiału kompostowego, a ta jest zależna od użytych substratów, wielkości cząstek

kompostowanego materiału i wilgoci wypełniającej pory. Zbyt mała ilość dostarczanego tlenu może prowadzić do powstania warunków beztlenowych, a co z tym związane, obumierania organizmów sprzyjających procesowi i spadku temperatury procesu. Zbyt duża ilość dostarczanego tlenu, to przesuszenie masy kompostowej, spadek temperatury i w konsekwencji brak procesów biochemicznych powodujących proces rozkładu materii organicznej. Pomiędzy wartościami skrajnymi istnieje przedział optymalnych wartości ilości dostarczanego tlenu dla przebiegu procesu kompostowania. Z danych literaturowych [Haug, 1993; Lu i in, 2001; Lau i in, 1992] wynika, że zalecane dawki dostarczania tlenu do masy kompostowej wahają się od 0,11 l min^{-1} kg^{-1} – 3,47 l min^{-1} kg^{-1}. Ten duży przedział wartości zalecanej dostawy tlenu jest uzasadniony etapem prowadzenia procesu kompostowania (większe dawki w początkowym etapie), ale również rodzajem odpadów podlegających procesowi. W oparciu o doświadczenia laboratoryjne opisywane w literaturze i pracę kompostowni w warunkach rzeczywistych można wysunąć dwa uogólnienia:

- minimalne dawki napowietrzania powinny być większe niż 0,04 l min^{-1} kg^{-1} materii organicznej,
- maksymalne dawki napowietrzania powinny być mniejsze niż 3,0 l min^{-1} kg^{-1}.

Wilgotność mieszanki kompostowej wpływa na rozwój i aktywność mikroorganizmów. Transport aktywny i bierny substancji odżywczych i metabolitów odbywa się w cytoplazmie komórek oraz przez błony komórkowe i jest możliwy tylko z udziałem wody, która jest nośnikiem tych substancji [Liang i in., 2003]. Zbyt duża zawartość wody w masie kompostowej może hamować szybkość przebiegu procesu kompostowania. Aktywność mikrobiologiczna zmniejsza się, gdy wilgotność kompostu spadnie poniżej 40%, ustaje przy wilgotności poniżej 20% a przy wilgotności powyżej 60%, obserwuje się spadek szybkości dyfuzji tlenu w porach kompostu, co wpływa na biochemiczne przemiany tlenowe [Epstein, 2011]. Źródłem wody w kompoście może być woda zawarta w odpadach., ale będzie nim również woda uwalniana w procesach biochemicznych [Viel i in., 1987]. Podczas trwania procesu i na wskutek wzrostu temperatury, następuje intensywne parowanie. Koniecznym staje się uzupełnianie wilgoci w mieszankach kompostowych.. Optymalna wilgotność masy kompostowej powinna mieścić się w przedziale 50÷60%. [Liang i in., 2003; Shammas i Wang, 2009].

Do rozwoju mikroorganizmów w masie kompostowej potrzebne są substancje pokarmowe. Biorąc pod uwagę zróżnicowanie składu chemicznego odpadów przeznaczonych do procesu kompostowania, dostępność składników pokarmowych zależy nie tylko od źródła pochodzenia odpadów, ale także od miejsca i czasu ich przetwarzania. Najważniejszymi

pierwiastkami dla aktywności mikrobiologicznej w czasie kompostowania są azot i węgiel. Według doniesień literaturowych stosunek C/N w masie kompostowej powinien zawierać się w przedziale (22÷40):1 [Epstein, 1997]. W warunkach rzeczywistych najczęściej występujący stosunek C/N zawiera się w przedziale wartości 25:1 do 35:1 [Shammas i Wang, 2009]. Wysoki stosunek C/N spowalnia proces kompostowania, natomiast niski stosunek C/N powoduje uwalnianie amoniaku, który inhibituje szybkość biochemicznych procesów tlenowych. Przy stosunku C/N o wartości wyższym od 50:1 proces kompostowania ulega drastycznemu spowolnieniu wskutek zahamowania rozwoju mikroorganizmów przez niedobór związków azotu [Epstein, 1997].

W prawidłowo przygotowanej mieszance kompostowej oraz przy prowadzeniu procesu zgodnie z wyżej wymienionymi założeniami, cały proces będzie można podzielić na fazy. W procesach kompostowania wyróżnia się fazę wzrostu temperatury z dominacją mikroorganizmów rozwijających się w temperaturach do ok 45° C (fazę mezofilną). Intensywna działalność mikroorganizmów będzie prowadziła do zjawisk egzotermicznych jako wyniku uwalniania nadmiaru ciepła w prowadzonych przez mikroorganizmy procesach biodegradacji i wzrostu temperatury. Wzrost temperatury będzie z kolei skutkował dominacją mikroorganizmów termofilnych, dla których optymalne temperatury wzrostu to od 50 do 60° C. Wyczerpywanie substratów powoduje powolny spadek liczebności organizmów termofilnych i spadek temperatury masy kompostowej. Następuje ponowna kolonizacja podłoża przez mikroorganizmy mezofilne i następuje faza wychładzania mieszanki kompostowej

W tabeli 1 przedstawiono dominujące rodzaje mikroorganizmów w poszczególnych fazach kompostowania według Epstein, (1997).

Tab. 1.

Dominujące rodzaje mikroorganizmów w poszczególnych fazach kompostowania [Epstein, 1997]

Fazy procesu kompostowania	Rodzaj mikroorganizmów
Mezofilna wstępna	Bakterie: *Pseudomonas, Bacillus, Flovabacterium, Clostridium, Serratia, Enterobacter, Klebsiella*
	Grzyby: *Alternalia, Clodosporium, Mucor, Aspergillus, Humicola, Penicillium*
Termofilna	Bakteria: *Bacillus, Thermus*
	Grzyby: *Aspergillus, Mucor, Chaetomium, Humicola, Absidia, Sporotrichum, Thermoascus*
	Prmieniowce: *Streptomyces, Thermoactinomyces, Thermonospora*
Mezofilna schładzania	Bakterie: *Bacillus, Flovabacterium, Pseudomonas, Cellulomonas*
	Grzyby: *Alternalia, Aspergillus, Bipolaris, Fusarium*
	Promieniowce: *Streptomyces, Thermopolyspora*

3. Technologie kompostowania

Najbardziej rozpowszechnionymi technologiami procesu kompostowania są technologie jedno i dwuetapowe.

Kompostowanie jednoetapowe polega na prowadzeniu procesu na pryzmach kompostowych. Formowane pryzmy mogą mieć przekrój trapezowy z najczęściej stosowaną wysokością 1 m, lub trójkątny o wysokości od 1,50 do 2,50 m, przy szerokości podstawy do 4,80 m. Rozmiary formowanych pryzm zależą od zastosowanego systemu napowietrzania i ewentualnych urządzeń przerzucających. Długość formowanych pryzm jest dowolna. Niezwykle istotne jest, żeby w trakcie trwania procesu nie dokładać świeżego materiału kompostowego do już uformowanej pryzmy. Taki zabieg może prowadzić do wtórnego zanieczyszczenia sanitarnego kompostowanego materiału. Pryzmy umieszcza się na utwardzonym podłożu, pod zadaszeniem lub w hali kompostowni. Napowietrzanie pryzm odbywa się w sposób mechaniczny poprzez przerzucanie masy kompostu przy użyciu przerzucarek lub ładowarek. Innym sposobem napowietrzania jest zastosowanie w podłożu posadzek płyt napowietrzających z różnym rozmieszczeniem i zagęszczeniem perforacji. Dobór sposobu napowietrzania jest warunkowany zarówno rodzajami wykorzystywanych w procesie odpadów, jak i możliwościami nakładów finansowych na instalację kompostowania. Z praktycznego punktu widzenia każdy system ma swoje zalety i wady. Czasochłonne i wymagające dużego terenu kompostowni przerzucanie mechaniczne przynosi dobre rezultaty nie tylko w kwestii napowietrzania masy kompostowej, ale również z wynikającej przy okazji

tego zabiegu homogenizacji masy. Podłoże napowietrzające (w halach lub tunelach) pozwala na monitoring ilości dostarczanego powietrza, ale wymaga częstej konserwacji i czyszczenia otworów napowietrzających. W przypadku technologii otwartych (pryzmowych) należy liczyć się z długim czasem trwania procesu (w zależności od kompostowanych odpadów, do jednego roku) i z uciążliwościami środowiskowymi, takimi jak odory i odcieki. Tak więc, ze względów środowiskowych, nie w każdej lokalizacji i nie dla wszystkich odpadów mogą być stosowane systemy jednoetapowe na pryzmach.

Kompostowanie dwuetapowe ma za zadanie przyspieszenie procesu rozkładu odpadów organicznych i higienizację kompostowej masy już w pierwszym etapie procesu, tak, żeby wszystkie kolejne operacje procesowe odbywały się na materiale czystym sanitarnie. Kolejnym ważnym zadaniem kompostowania dwuetapowego jest zamknięcie procesu rozkładu intensywnego ze wszystkimi jego środowiskowymi uciążliwościami (odcieki i odory) w komorze-bioreaktorze.

W związku z powyższym kompostowanie dwuetapowe będzie składało się z:

1. etapu intensywnego kompostowania w bioreaktorze (od 7 do 21 dni),
2. etapu dojrzewania kompostu na pryzmach kompostowych (ok. 4 -6 miesięcy).

W przypadku technologii wykorzystujących zamknięte komory – bioreaktory, w większości przypadków zostaje całkowicie rozwiązana sprawa odcieków (są zawracane do procesu), jak również sprawa oczyszczania powietrza poprocesowego. W wyniku prowadzenia procesu w bioreaktorach otrzymuje się kompost świeży, który następnie dojrzewa na pryzmach kompostowych. Poważny problem procesowy obserwuje się przy eksploatacji technologii bioreaktorowych z możliwością równomiernego nawilżania masy wsadowej, a także często z odpowiednim jej napowietrzaniem. Pomimo starań w uzyskaniu homogenicznej masy wsadowej do bioreaktora, mogą pojawić się problemy związane z ogromną różnorodnością odpadów przeznaczonych do procesu, zwłaszcza jeśli procesowi poddawana jest organiczna frakcja odpadów komunalnych. To właśnie duże zróżnicowanie struktury odpadów powoduje, że ich nagromadzenie w komorze bioreaktora utrudnia działanie nawet najlepiej zaprojektowanego systemu napowietrzania i nawilżania.

4. Możliwości wykorzystania kompostu

Dojrzały kompost może mieć różnorakie zastosowanie. W warunkach polskich kompost może być wykorzystywany jako nawóz organiczny lub środek wspomagający uprawę roślin, w tym

środek poprawiający właściwości gleby, podłoże do upraw lub stymulator wzrostu[6]. W zależności od wartości parametrów dojrzałego kompostu (głównie to: zawartość substancji organicznej, zawartość azotu ogólnego, fosforu, potasu, metali ciężkich) może zostać wykorzystany do nawożenia gleb w uprawach polowych, warzywnych, użytków zielonych, roślin ozdobnych (doniczkowych i rabatowych), trawników, rzadziej w uprawach leśnych. Stosowanie dojrzałego kompostu przynosi również dobre efekty przy rekultywacji gleb zdegradowanych. W każdym przypadku dojrzały kompost musi być bezpieczny parazytologicznie i sanitarnie. W dojrzałym kompoście nie mogą występować żywe jaja pasożytów jelitowych (*Ascaris sp., Trichuris sp., Toxocara sp.*) oraz bakterie z rodzaju *Salmonella.* Bez względu na skomplikowaną i długotrwałą procedurę wprowadzania kompostu do obrotu handlowego[7] stanowi bardzo dobrą alternatywę dla nawozów naturalnych i mineralnych.

Ze względu na fakt, ze zawartość materii organicznej w glebie nie jest stała i ulega spadkowi w zależności od stosowanych upraw oraz form nawożenia, nawożenie organiczne poprzez zastosowanie kompostu zawierającego związki humusowe sprzyja powolnej odbudowie zawartości materii organicznej. Dostarczenie do gleby przekompostowanej materii organicznej może powodować zmianę odczynu pH gleby, a także poprawiać właściwości hydrofizyczne, mechaniczne i aeracyjne gleby.

Trudno oceniać komposty z odpadów organicznych jako stymulatory wzrostu roślin. Nieliczne badania w tym zakresie nie dają możliwości definitywnych stwierdzeń. Nie mniej badania prowadzone na kompostach z odpadów komunalnych wykazały znacznie wyższe zawartości, około 1,5 do 3 razy, IAA (kwasu indolilo – 3 – octowego, potocznie określanego jako auksyna czyli hormon wzrostu), w stosunku do innych podłoży, w tym torfu [Szajdak, 2004].

5. Podsumowanie

Kompostowanie odpadów organicznych to metoda recyklingu odpadów organicznych oraz produkcja wartościowego nawozu organicznego. Znajomość procesu biodegradacji substancji organicznej i wykorzystanie tej wiedzy są kluczowe dla projektowania przemysłowych instalacji recyklingu organicznego. Jednak prowadzenie procesu nie jest proste i może

[6] Ustawa o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 roku (Dz. U. nr 147, poz. 1033)

[7] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 roku w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz. U. nr 119, poz. 765)

powodować uciążliwości środowiskowe. Magazynowanie większości odpadów organicznych powoduje uciążliwość odorową a także niebezpieczeństwo rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń sanitarnych poprzez bioaerozole. Substraty przeznaczone do procesu kompostowania pochodzą z różnych źródeł: rolniczych, przemysłowych i komunalnych. To daje możliwość wystąpienia zanieczyszczeń o charakterze mechanicznym, jak i chemicznym substratów. Zanieczyszczenia mogą działać w procesie inhibicyjnie. Wszystkie te aspekty przekładają się na bardziej lub mniej poprawny przebieg procesu kompostowania.

Do rozważań nad prowadzeniem procesu kompostowania w warunkach przemysłowych należy również włączyć budowę instalacji kompostowania i niedoskonałości jej niektórych elementów składowych, np. systemu nawilżania. Duża ładowność komór (30-50 ton) może powodować brak homogeniczności masy kompostowej oraz nierównomierne jej nawilżenie. Efektem nierównomiernie przebiegającego procesu w całej masie jest również nierównomierny rozkład temperatur masy kompostowej. Ograniczone możliwości monitoringu niektórych parametrów w komorach kompostujących, w tym przede wszystkim temperatury, mogą być przyczyną braku higienizacji materiału kompostowego, czyli pozbywania się mikroorganizmów patogennych. Należy zatem prowadzić dalsze badania zarówno w aspekcie budowy bezpiecznych środowiskowo instalacji kompostowania jak i samych procesów prowadzących do produkcji wartościowego i bezpiecznego dla środowiska glebowego nawozu organicznego.

Literatura:

Anders D., Rząsa M.R. (2007): *The possibility of composting animal waste products*. Environment Protection Engineering, Vol. 33, No 2, s. 7-17

Anders D., Łomotowski J. (2008): *Badania nad kompostowaniem odpadów organicznych*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Oddział Wielkopolski, Poznań

Anders D., Alwaeli M. (2015): *Application of post-filtreted diatomaceous earth from brewing industry in composting*, Environment Protection Engineering, Wrocław, vol. 41, No. 2, s. 159-172

Anders D. (2015): *Aspekty technologiczne zmian temperatur w procesie kompostowania*, Politechnika Opolska, t. 424, Opole

Bilitewski B., Härdtle G, Marek K. (2006): *Podręcznik gospodarki odpadami. Teoria i praktyka*, Seidel, Przywecki, Warszawa

Epstein E. (1997): *The science of composting*, Technomic Publishing Company, USA

Epstein E. (2011): *Industrial composting. Environmental engineering and facilities management*. Taylor & Francis Group

Guerra-Rodríguez E., Diaz-Raviña M., Vàzquez M. (2001): *Co-composting of chestnut burr and leaf litter with solid poultry manure*. Bioresource Technology 78, s. 107–109

Hasan K.M.M., Sarkar G., Alamgir M., Bari Q.H., Haedrich G. (2012): *Study on the quality and stability of compost through a Demo Compost Plant*. Waste Management 32, s. 2046–2055

Haug, R. T. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers, USA

Hsu J.H., Lo S.L. (1999): *Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure*, Environmental Pollution, 104, s.189-196

Lau A.K., Lo K.V., Liao P.H., Yu J.C. (1992): *Aeration experiments for swine waste composting.* Bioresource Technology 4, s. 1145–1152

Leroy B., Bommele L., Reheul D., Moens M., Neve S. (2007): *The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture*: *Effects on soil fauna and yield.* European Journal of Soil Biology 43, s. 91–100

Liang C., Das K.C., McClendon R.W. (2003): *The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend.* Bioresource Technology 86, s. 131-137

Lu S.G., Imai T., Li H.F., Ukita M., Sekine M., Higuchi T. (2001): *Effect of enforced aeration on in-vessel food waste composting*. Environmental Technology 22, s. 1177–1182

Sæbøa A., Ferrini F. (2006): *The use of compost in urban green areas. A review for practical application.* Urban Forestry & Urban Greening 4, s. 159–169

Saha J.K., Panwar N., Singh M.V. (2010): *An assessment of municipal solid waste compost quality produced in different cities of India in the perspective of developing quality control indices*. Waste Management 30, s. 192–201

Shammas N.K., Wang L.K. (2009): *Biosolids. Composting* from: *Handbook of Environmental Engineering,* Volume 8*:* Biological Treatment Processes by: Wang L.K., Pereira N.C., Hung Y.T., Shammas N.K. The Humana Press, Totowa, NJ

Schröder J. (2005): *Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value sparesthe environment.* Bioresource Technology 96, s. 253–261

Viel M., Sayag D., Andre L. (1987): *Compost: Production and use*. Elsevier Applied Science, s. 231-237

Wong J., Ma K., Fang K., Cheung C. (1999): *Utilization of a manure compost for organic farming in Hong Kong*. Bioresource Technology 67, s. 43–46

h. Wizyta wirtualna w biogazowni

Opracowane nagranie z wdrożonej mikrobiogazowni w Ocieszynie k/Poznania.

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., GĄSZCZAK 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 Solfide 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.

DEMBCZYŃSKI 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.

HOBLER 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., HANEMAAIJER 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 cieplnej biomasy. Polska. Zgłoszenie patentowe P.199032 z dnia 31.07.2003 r.

JĘDRCZAK 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 młóta. Polska. Zgłoszenie patentowe P.188043 z dnia18.11.1997 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, Ogrzewanictwo, 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., WAWRZYNIAK 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 (H_2S and SO_2) [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 srodowiska, (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-POPŁAWSKA 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. Nawanialnia 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 Wrocłwiu, 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., SAVINYH 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., SAVINYK P.A., OTROSHKO S.A. 2011b. Urządzenie do wytwarzania biogazu ze stałych odpadów rolniczych, zwłaszcza obornika. Polska. Patent nr 218837 z dna12.08.2011 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. Złoża węgla brunatnego w regionie Legnicy-Ścinawy i technologie ich zagospodarowania [w]: A. Żelażniewicz, J. Wojewoda, W. Cieżkowski, [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 złóż 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