

BIOGAZ

PRODUKCJA

WYKORZYSTYWANIE



North East South West
INTERREG IIIC



HAASE

Niniejsza publikacja została napisana przez

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH

Torgauer Straße 116

D-04327 Leipzig

Tel.: +49 341 24 34 412

Fax: +49 341 24 34 433

<http://www.ie-leipzig.de>

we współpracy z

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft

Institut für Technologie und Biosystemtechnik (Institut Technologii i Bio-techniki)

Bundesallee 50

D-38116 Braunschweig

Tel.: +49 531 5 96 751

Fax: +49 531 5 96 363

<http://www.fal.de>

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.

Bartningstraße 49

D-64289 Darmstadt

Tel.: +49 6151 7 00 10

Fax: +49 6151 70 01 123

<http://www.ktbl.de>

Odpowiedzialnymi za treść poszczególnych rozdziałów są ich autorzy.

Niniejsze opracowanie jest zgodne z treścią rozdziałów 1, 2, 3, 4, 5 i 11 „Poradnika otrzymywania i wykorzystywania biogazu”, opublikowanego przez Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Agencję do Spraw Źródeł Odnawialnych) w roku 2005.

Wykorzystywanie (kopiowanie i tłumaczenie fragmentów) jest możliwe tylko za pisemną zgodą autorów.

Niniejsze opracowanie zostało przetłumaczone na język polski w celach szkoleniowych. Szkolenia zostaną zorganizowane projektu REGIOSUSTAIN który realizowany jest w ramach inicjatywy wspólnoty INTERREG IIIC.

Tłumaczenie tekstu zostało częściowo sfinansowane ze środków Unii Europejskiej.

Spis treści

1	Cele niniejszej pomocy	1
	M. KALTSCHMITT, F. SCHOLWIN	
1.1	Określenie zadań	1
1.2	Propozycja rozwiązania	2
1.3	Grupy docelowe	2
1.4	Ograniczenia	3
1.4.1	Technologia	3
1.4.2	Substraty	4
1.4.3	Zakres danych	4
2	Podstawy w zakresie wiedzy o fermentacji beztlenowej.....	5
	A. SCHATTAUER, P. WEILAND	
2.1	Powstawanie biogazu	5
2.2	Warunki środowiskowe	6
2.2.1	Tlen	7
2.2.2	Temperatura	7
2.2.3	Odczyn pH	8
2.2.4	Dostarczanie składników pokarmowych	8
2.2.5	Inhibitory	9
2.3	Parametry procesowe	10
2.3.1	Obciążenie objętościowe i czas aktywności fermentatora	10
2.3.2	Przemieszanie	11
2.3.3	Potencjał produkcyjny gazu i aktywność metanogenna	12
2.3.3.1	Możliwe uzyski gazów	12
2.3.3.2	Jakość gazu	15
2.4	Przyczyny zakłóceń procesu	16
2.4.1	Temperatura	16
2.4.2	Tworzenie amoniaku (NH ₃)	17
2.4.3	Siarkowodór (H ₂ S)	18
2.4.4	Błędy w podawaniu podłoża	18
2.5	Spis literatury	22

3	Technika instalacji do wytwarzania biogazu	23
	F. SCHOLWIN, H. GATTERMANN, A. SCHATTAUER, P. WEILAND	
3.1	Charakterystyka i różnice między poszczególnymi wariantami metod.....	23
3.1.1	Liczba etapów procesu technologicznego.....	24
3.1.2	Temperatura procesu technologicznego	24
3.1.3	Tryb napełniania	24
3.1.3.1	Napełnianie nieciągłe	24
3.1.3.2	Napełnianie w trybie quasi-ciągłym i ciągłym	25
3.1.4	Zawartość substancji suchej w substratach fermentacyjnych	27
3.1.4.1	Proces fermentacji mokrej.....	28
3.1.4.2	Proces fermentacji suchej	31
3.2	Technika procesowa	35
3.2.1	Obróbka substratów (tzw. substrate handling)	38
3.2.1.1	Dostawa	38
3.2.1.2	Magazynowanie	38
3.2.1.3	Uzdatnianie	39
3.2.1.4	Transportowanie i wprowadzanie wsadu substratu.....	48
3.2.2	Uzyskiwanie biogazu.....	63
3.2.2.1	Formy konstrukcyjne fermentatora	64
3.2.2.2	Konstrukcja fermentatorów.....	68
3.2.2.3	Oddzielanie frakcji płynnej od stałej	88
3.2.2.4	Monitoring i sterowanie technologicznym procesem uzyskiwania biogazu	89
3.2.3	Składowanie przefermentowanego substratu	89
3.2.4	Magazynowanie uzyskanego biogazu.....	90
3.2.5	Monitoring i sterowanie procesem technologicznym	94
3.3	Zasady bezpieczeństwa	104
3.3.1	Niebezpieczeństwo uduszenia i zatrucia.....	105
3.3.2	Niebezpieczeństwo wybuchu i pożaru	106
3.3.3	Dalsze niebezpieczeństwa wypadku	107
3.4	Spis literatury.....	107

4	Opis wybranych podłoży	109
	A. SCHATTAUER, P. WEILAND	
4.1	Podłoża pochodzenia rolniczego	109
4.1.1	Nawóz naturalny	109
4.1.1.1	Kukurydza	111
4.1.1.2	Żyto - kiszonka z całych roślin zbożowych (GPS)	112
4.1.1.3	Buraki.....	113
4.1.1.4	Kiszonka trawy	114
4.2	Podłoża pochodzące z przemysłu rolniczego związane z dalszą obróbką.....	115
4.2.1	Produkcja piwa	115
4.2.2	Odzyskiwanie alkoholu	115
4.2.3	Obróbka ziemniaków (produkcja skrobi).....	116
4.2.4	Odzyskiwanie cukru	117
4.2.5	Produkty uboczne obróbki owoców	118
4.3	Surowce organiczne z obiektów komunalnych i gospodarstw domowych.....	119
4.4	Zieleń i trawa	120
4.5	Spis literatury	122
4.6	Załącznik: Przegląd właściwości podłoży	124
5	Uzdatnianie gazu i możliwości jego zastosowania.....	126
	F. SCHOLWIN, H. GATTERMANN	
5.1	Uzdatnianie gazu	126
5.1.1	Odsiarczanie.....	127
5.1.1.1	Odsiarczanie biologiczne w fermentatorze	127
5.1.1.2	Odsiarczanie biologiczne poza fermentatorem.....	129
5.1.1.3	Odsiarczanie chemiczne w fermentatorze	130
5.1.1.4	Odsiarczanie chemiczne poza fermentatorem	131
5.1.2	Suszenie	132
5.2	Wykorzystanie przez sprzężenie mocy i ciepła	133
5.2.1	Elektrociepłownie blokowe z silnikami spalinowymi	133
5.2.1.1	Gazowe silniki Otto	134
5.2.1.2	Silniki o zapłonie samoczynnym	135
5.2.1.3	Redukcja substancji szkodliwych oraz oczyszczanie spalin.....	137

5.2.1.4	Generatory	138
5.2.1.5	Elektryczne współczynniki sprawności oraz moc	139
5.2.1.6	Odzyskiwanie ciepła	140
5.2.1.7	Odcinek regulowany przepływu gazu	141
5.2.1.8	Użytkowanie, konserwacja, serwis i pomieszczenia zamontowania urządzeń .	142
5.2.1.9	Koszty.....	146
5.2.2	Wykorzystanie w silnikach Stirlinga.....	148
5.2.3	Wykorzystywanie w mikroturbinach gazowych.....	149
5.2.4	Wykorzystanie w ogniach paliwowych	151
5.3	Wykorzystanie przez sprzężenie mocy, ciepła i zimna.....	153
5.4	Dalsze możliwości wykorzystania	154
5.4.1	Termiczne wykorzystanie biogazu	155
5.4.2	Oddawanie biogazu do sieci gazu ziemnego	155
5.4.3	Paliwo dla pojazdów silnikowych.....	156
5.5	Spis literatury.....	157
6	Wdrażanie projektu	159
	F. SCHOLWIN, A. NIEBAUM, A. SCHATTAUER	
6.1	Pomysł i szkic projektu	159
6.2	Etap szczegółowego planowania	160
6.3	Planowanie uzyskiwania zezwoleń	163
6.4	Zakup instalacji.....	166
6.5	Budowa instalacji.....	170
6.6	Eksploatacja instalacji	175
6.7	Spis literatury.....	176

1 Cele niniejszej pomocy

W kontekście dążenia do intensywniejszego wykorzystania odnawialnych źródeł energii mającego na celu ograniczenie redukcji emisji energetycznych gazów cieplarnianych, w ostatnich latach coraz większe znaczenie zaczyna odgrywać odzyskiwanie i wykorzystywanie biogazu rolniczego. Planowanie, budowanie i użytkowanie instalacji do odzyskiwania biogazu z podłoży bogatych w substancje biogenne, z punktu widzenia zyskującej na znaczeniu polityki energetycznej i proekologicznej, staje się coraz bardziej uzasadnione i opłacalne. Celem niniejszej pomocy jest udzielenie wyczerpujących i opartych na praktyce odpowiedzi na wszystkie zagadnienia dotyczące technicznych, organizacyjnych, prawnych i ekonomicznych aspektów związanych z wytwarzaniem i wykorzystaniem biogazu rolniczego.

1.1 Określenie zadań

Obserwowany od lat wzrost produkcji energii pochodzącej z biogazu należy tłumaczyć przed wszystkim zmienionymi regulacjami administracyjnymi (np. ustalone przez państwo rabaty na prąd pozyskiwany z odnawialnych źródeł energii, dotacje inwestycyjne na szczeblu administracji krajowej i poszczególnych landów na budowanie instalacji przetwarzania biogazu). Z powodu tego rosnącego zapotrzebowania, na rynku pojawiło się wielu producentów instalacji odzysku biogazu oraz firm oferujących swoje produkty w tym zakresie. Branża mogła w ten sposób wzbogacić się o ważne doświadczenia, z których wyodrębniają się cztery zasadnicze kwestie, stanowiące odpowiedź na pytanie o zadanie niniejszej pomocy w odzyskiwaniu i wykorzystywaniu biogazu:

- Mimo wyraźnej tendencji do wzrostu produkcji biogazu, w rolnictwie nadal często brakuje odpowiedniej wiedzy i technologii. Z tego powodu w celu udanego zrealizowania jak największej ilości projektów związanych z instalacjami odzysku biogazu, należy pośredniczyć w przekazywaniu informacji na drodze od rolnictwa do technologii energetycznych wraz z wszystkimi aspektami prawnymi, ekologicznymi, administracyjnymi, organizacyjnymi i logistycznymi.
- Rozwój rynku doprowadził do powstania wielu różnych rozwiązań technicznych dostosowanych do różnorodnych potrzeb użytkowników. Brakuje jednak niezależnego od interesu firm i wspartego naukowymi argumentami przeglądu w zakresie aktualnie dostępnych na rynku i rozwojowych technologii.
- W wielu instalacjach przy wyborze substratów niewiedza inwestora jest przyczyną łamania elementarnych reguł obowiązujących w biotechnologii. Reguły te należy znać, aby wykluczyć dalsze błędy przy budowaniu kolejnych systemów.

- Bardzo dużo niepewności budzą pytania dotyczące zezwoleń na instalacje do odzysku biogazu. W tej kwestii konieczne jest opracowanie przeglądu wymaganych kroków w realizacji projektu instalacji do odzysku biogazu z uwzględnieniem problematyki niespójnych praktyk obowiązujących w poszczególnych landach.

Pozyskiwanie odnawialnej energii z biogazu można w idealny sposób połączyć z poprawnym zarządzaniem gospodarką materiałową. Z tego powodu wiele gospodarstw rolnych chętnie zainwestowałoby w instalacje odzysku biogazu.

Wśród potencjalnych nabywców panuje jednak niepewność związana z tym, iż na podstawie dostępnych informacji trudno jest jednoznacznie odróżnić fakty od „pobożnych życzeń”. Należy zatem uczynić coś w kierunku, aby potencjał energetyczny i ekonomiczny, jaki bez wątpienia drzemie jeszcze w tej branży, nie był niewykorzystywany z powodu niedostatecznego poinformowania.

1.2 Propozycja rozwiązania

Niniejsza pomoc powstała z myślą o zapaleniu luki informacyjnej istniejącej w dotychczasowych publikacjach oraz o przyjsciu z pomocą potencjalnym inwestorom i pozostałym zainteresowanym podmiotom, które w niniejszym opisie odnajdą przejrzysty przegląd faz planowania projektu wykorzystania biogazu.

- Niniejsza pomoc powinna *ZMOTYWOWAĆ* czytelnika do podjęcia próby przemyślenia i sprawdzenia w najbliższym otoczeniu, czy i w jaki sposób czytelnik mógłby przyczynić się do energetycznego wykorzystania biogazu.
- Pomoc ma na celu również *INFORMOWANIE*. Potencjalni inwestorzy i pozostali zainteresowani tematem wykorzystania energetycznego biogazu powinni poprzez niniejszy podręcznik przyswoić sobie umiejętność pozyskiwania informacji ze źródła informacji.
- Ponadto niniejsza pomoc ma stanowić dostateczną pomoc w *SZACOWANIU* projektów. Powinna ona dostarczać narzędzi, które są konieczne do sprawdzania obiecujących pomysłów ze względu na ich przydatność w przemianach gospodarczych.
- Niniejsza pomoc ma ponadto dostarczyć instrukcji i pomocy w udanej realizacji pomysłów pozyskiwania energii z biogazu.

1.3 Grupy docelowe

Niniejsza pomoc jest skierowana zasadniczo do osób, które są zainteresowane odzyskiwaniem i wykorzystywaniem biogazu i/lub związanych w jakiejś formie z projektem wykorzystania biogazu. Pomoc jest więc przeznaczona głównie dla osób lub organizacji, które planują i realizują projekt wykorzystania biogazu.

Do grupy docelowej osób, które chcą realizować projekt wykorzystania biogazu, należą w pierwszej kolejności *rolnicy lub gospodarstwa rolne*. Jako wytwarzający substrat mogą oni być zainteresowani problemem odzyskiwania i energetycznego wykorzystywania biogazu. Poza tym w gospodarstwie rolnym osady pofermentacyjne stanowią nawóz o ciągle rosnącej wartości.

Ze względu na duży potencjał wykorzystania biomasy w rolnictwie, rolnicza produkcja biogazu stanowi centralny punkt rozważań niniejszej pomocy.

Kolejnymi potencjalnymi *producentami lub przetwórcami odpadów organicznych* są na przykład zakłady przemysłu przetwórczego żywności, zakłady i przedsiębiorstwa utylizacji odpadów. *Inwestorzy prywatni* również zaliczają się do grupy docelowej potencjalnych realizatorów. Istnieją np. spółki udziałowe, które specjalnie inwestują w korzystne projekty ekologiczne.

Drugą grupę docelową tworzą osoby, które w jakimś stopniu są związane z projektem wykorzystania biogazu, czy to jako *pracownicy urzędów, bankowcy, doradcy rolni lub planiści*, czy też *budujący instalację i jej elementy składowe*. Ponadto będą to wszystkie te osoby, które są *pośrednio bądź bezpośrednio związane* z realizacją projektu wykorzystania biogazu. Pomoc powinna wyrównać wszystkie braki w wiedzy wymienionych grup docelowych oraz przyczynić się do lepszego zrozumienia w załatwianiu wzajemnych interesów.

Podobną grupę stanowią również *regionalne i ogólnokrajowe stowarzyszenia i organizacje*, które działają w obszarze energii odnawialnych w charakterze doradców. Dla nich niniejsza pomoc jest istotnym źródłem informacji wykorzystywanych do doradztwa w zakresie wykorzystania biomasy do odzyskiwania biogazu.

Niniejsza pomoc została pomyślana również jako środek motywacji i wsparcia dla *decydentów*, które z powodu swojej pozycji mogą decydować o rozpoczęciu i / lub przefinansowaniu projektu wykorzystania biogazu. Nieocenioną pomoc w związku z pełnioną funkcją edukacyjną znajdują tu również *sponsorzy projektów i agencje energetyczne*.

1.4 Ograniczenia

W niniejszej pomocy niezbędne jest, jak opisano poniżej, dokonanie ograniczeń tematycznych zarówno odnośnie technologii i używanych substratów, jak również zakresu przedstawionych danych.

1.4.1 Technologia

W niniejszej pomocy skupiono się wyłącznie na aspektach wykorzystania biomasy do odzyskiwania i wykorzystania biogazu. Główny nacisk położono na stosowaną w rolnictwie fermentację moką oraz na produkcję ciepła i prądu w skojarzonej gospodarce energetycznej.

Między innymi ze względu na wysokie koszty i istniejące cały czas problemy techniczne, procesy związane z fermentacją suchą oraz technologie wykorzystania biogazu wychodzące poza skojarzoną gospodarkę energetyczną (np. mikroturbina gazu, ogniwo paliwowe, produkcja paliw silnikowych) poruszono w tym opracowaniu tylko fragmentarycznie.

Z tego powodu skoncentrowano się wyłącznie na wytwarzaniu biogazu metodami fermentacji mokrej oraz na produkcji energii poprzez spalanie silnikowe biogazu przy użyciu dostępnych technologii.

1.4.2 Substraty

W niniejszej pomocy uwzględniono stosowane obecnie oraz posiadające najważniejsze znaczenie w gospodarce biogazowej substraty, niezależnie od ich pochodzenia (rolnictwo, ochrona środowiska naturalnego, służby komunalne, przemysł). Najwięcej uwagi poświęcono jednak substratom wykorzystywanym w rolnictwie.

1.4.3 Zakres danych

Ograniczeniami objęto również zakres danych. Niniejsza pomoc zawiera z jednej strony dane i fakty, niezbędne do zrozumienia stosownych informacji i metod postępowania, a z drugiej strony wszystkie te, które są wymagane do przeprowadzenia pierwszych szacunków i obliczeń. Mając na uwadze przejrzystość i jasność tekstu zrezygnowano z załączenia wykraczających poza te obliczenia danych liczbowych.

Niniejsza pomoc zawiera zgromadzone do połowy 2003 roku wyniki oparte na starannych obliczeniach i wielu fachowych dyskusjach. Nie można przy tym zgłaszać żadnych roszczeń co do bezwzględnej kompletności i poprawności danych, chociaż wydaje się, że uzyskano cel stworzenia obszernej i w dużym stopniu wyczerpującej prezentacji wszystkich istotnych dziedzin, których celem jest odzyskiwanie i wykorzystywanie biogazu.

2 Podstawy w zakresie wiedzy o fermentacji beztlenowej

2.1 Powstawanie biogazu

Jak sama nazwa wskazuje, „biogaz” powstaje w procesie biologicznym. Z masy organicznej przy braku obecności tlenu powstaje mieszanina gazów, tak zwany biogaz. Ten szeroko rozpowszechniony w przyrodzie proces odbywa się na przykład na torfowiskach, na dnie mórz, w gnojowicy oraz w żwaczach przeżuwaczy. Masa organiczna zamienia się prawie w całości w biogaz i oprócz tego powstają dodatkowo niewielkie ilości nowej biomasy lub ciepła.

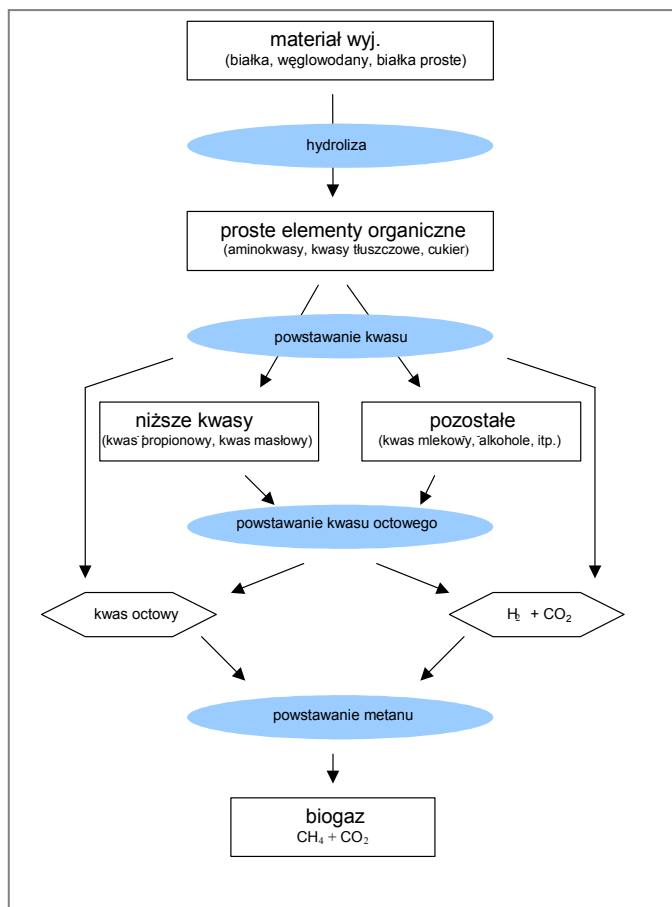
Utworzona mieszanina gazów w około dwóch trzecich składa się z metanu i w około jednej trzeciej z dwutlenku węgla. Oprócz tego w biogazie znajdują się jeszcze niewielkie ilości wodoru, siarkowodoru, amoniaku i innych gazów śladowych. Aby uzmysłowić sobie proces powstawania biogazu, możemy go podzielić na kilka etapów (patrz rysunek 2-1) [2-1] [2-2] [2-3] [2-4].

W pierwszym etapie, „*hydrolizie*”, dochodzi do rozkładu złożonych związków materiału wyjściowego (np. węglowodanów, białek, tłuszczów) na proste związki organiczne (np.

aminokwasy, cukier, kwasy tłuszczowe). Uczestniczące w tym procesie bakterie uwalniają enzymy, które rozkładają materiał na drodze reakcji biochemicznych.

Następnie utworzone produkty pośrednie rozkładają się w tak zwanej „*fazie zakwaszania*” przy udziale bakterii kwasotwórczych na kwasy tłuszczowe (kwas octowy, propionowy i masłowy) oraz dwutlenek węgla i wodór. Oprócz tego powstają niewielkie ilości kwasu mlekowego i alkoholu.

Produkty te w następnej fazie „*tworzenia się kwasu octowego*”, przy udziale bakterii zamieniają się w substancje poprzedzające powstanie biogazu (kwas octowy, wodór i dwutlenek węgla). Ponieważ zbyt wysoka zawartość wodoru szkodzi bakteriom octowym, muszą one współpracować z bakteriami metanowymi.



Rysunek 2-1: Prezentacja schematyczna rozkładu beztlenowego

Podczas tworzenia metanu zużywają one wodór i przez to zapewniają odpowiednie warunki do życia bakterii octowych. W kolejnej fazie, „*metanogonezie*”, ostatnim etapie tworzenia biogazu, z produktów acetogenezy powstaje metan.

Jeśli cztery etapy rozkładu przebiegają wspólnie w jednym fermentatorze, mówimy wtedy o instalacjach jednozakresowych. Ponieważ bakterie z poszczególnych etapów posiadają różne wymagania co do swoich warunków życia, musimy w tym miejscu znaleźć odpowiedni kompromis. Ponieważ bakterie metanowe są najbardziej wrażliwe na zakłócenia i namnażają się bardzo wolno, warunki środowiskowe w takich systemach będziemy dopasowywać do tych właśnie bakterii. Natomiast w instalacjach dwuzakresowych hydroliza i zakwaszanie są rozdzielone następującymi po sobie zakresami rozkładu. Dzięki temu możliwe jest lepsze dopasowanie warunków otoczenia do określonych grup bakterii oraz możliwe jest uzyskanie lepszej skuteczności rozkładu.

2.2 Warunki środowiskowe

W opisie warunków środowiskowych musimy rozróżnić fermentację moką od fermentacji suchej, ponieważ głównie ze względu na zawartość wodoru wynikają między nimi różnice. Ponieważ fermentacja mokra jest bardziej rozpowszechniona, w dalszej części zajmujemy się tylko nią.

Jednoznaczny podział metod na fermentację moką i suchą z biologicznego punktu widzenia jest właściwie mylny, ponieważ bakterie biorące udział w procesie fermentacji zawsze potrzebują płynnego środowiska do przeżycia.

Również w przypadku definicji zawartości masy suchej fermentującego podłoża dochodzi do nieporozumień, ponieważ bardzo często stosuje się podłoża o różnych zawartościach masy suchej. Użytkownik musi zdać sobie sprawę, o podziale metody nie decyduje zawartość masy suchej poszczególnych podłoży, a zawartość masy suchej mieszanki podłoży podawanej do fermentora.

Z tego powodu podział na fermentację moką lub suchą następuje na podstawie zawartości masy suchej materiału w komorze fermentacyjnej.

Należy ponadto zwrócić uwagę na fakt, iż bakterie w swoim bezpośrednim otoczeniu w obu przypadkach potrzebują środowiska wodnego.

Co prawda nie ma dokładnej definicji granicy między fermentacją moką i suchą, to jednak w praktyce przyjęło się, że o fermentacji mokrej mówimy wtedy, gdy zawartość masy suchej w fermentorze wynosi od 12 do 15% i przy tej zawartości wody możliwe jest pompowanie materiału. Jeśli zawartość masy suchej wzrośnie powyżej 16%, to materiał przeważnie traci zdolność do pompowania i mówimy wtedy o fermentacji suchej.

2.2.1 Tlen

Bakterie metanowe należą do najstarszych organizmów żyjących na ziemi i powstały przed trzema lub czterema miliardami lat, długo przed tym, jak na ziemi wytworzyła się atmosfera. Z tego powodu bakterie te również dziś są zdane na warunki życia, w których nie występuje tlen. Niektóre z tych bakterii już przy niewielkich ilościach tlenu giną. Często nie da się uniknąć całkowitego wyeliminowania zawartości tlenu w fermentator. Powodem tego, że nie od razu można wyhamować działania bakterii metanowych lub całkowicie ich zlikwidować, jest fakt, że żyją one we współpracy z bakteriami z poprzednich etapów [2-1] [2-2]. Niektóre z tych bakterii są warunkowo beztlenowe, to znaczy mogą przeżyć zarówno w warunkach aerobowych jak i anaerobowych.

Tak długo, jak doprowadzenie tlenu nie będzie odpowiednio wydajne, bakterie te będą zużywać tlen, zanim zaszkodzi on bakteriom, które żyć mogą tylko w warunkach beztlenowych.

2.2.2 Temperatura

Zasadniczo możemy powiedzieć, że reakcje chemiczne przebiegają tym szybciej, im wyższa jest temperatura otoczenia. W przypadku biologicznych procesów rozkładu i przemiany zależność ta sprawdza się tylko pod pewnymi warunkami. Musimy uwzględnić, że każdy rodzaj bakterii biorących udział w procesach przemiany materii potrzebuje innej temperatury [2-1]. Jeśli te żądane zakresy temperatur zostaną przekroczone, może dojść do zahamowania lub nawet do nieodwołalnego uszkodzenia bakterii. W odniesieniu do procesu powstawania biogazu może mieć to następujące skutki:

Bakterie uczestniczące w procesie rozkładu, ze względu na wymagania temperaturowe, możemy podzielić na trzy grupy: bakterie psychrofilowe, mezofilowe i termofilowe [2-1].

- Optymalna temperatura w przypadku bakterii psychrofilowych wynosi około 25°C. W takiej temperaturze odpada konieczność podgrzewania podłoża wzgl. fermentatora, ale za to skuteczność rozkładu i produkcja gazu jest wyraźnie ograniczona.
- Większość znanych bakterii metanowych posiada optymalną temperaturę wzrostu w mezofilnym zakresie temperatur między 32 a 42°C. Instalacje pracujące w zakresie mezofilowym są w praktyce najszerzej rozpowszechnione, ponieważ w tym zakresie temperatur osiąga się relatywnie wysoki uzysk gazu przy zachowaniu dobrej stabilności procesu [2-5].
- Jeśli zachodzi konieczność zastosowania środków higienicznych prowadzących do zabicia bakterii chorobotwórczych lub w przypadku stosowania podłoża o wysokiej temperaturze własnej (np. woda procesowa), zaleca się użycie do fermentacji termofilnych kultur bakterii. Ich optymalna temperatura działania wynosi od 50 do 57°C. Dzięki wysokiej temperaturze procesu uzyskujemy wysoki uzysk gazu.

Należy jednak zauważyć, że potrzebna jest wówczas dodatkowa porcja energii do procesu fermentacji. Poza tym proces fermentacji w tym zakresie temperatur jest bardziej czuły na zakłócenia i nieregularność w doprowadzaniu podłoża lub w sposobie pracy komory fermentacyjnej [2-4]. Ponieważ bakterie podczas działania produkują tak mało ciepła, że nie wystarcza go do uzyskania wymaganej temperatury otoczenia, podczas pracy mezofilowej i termofilowej fermentatora musi on być obowiązkowo zaizolowany i ogrzewany z zewnątrz, aby możliwe było uzyskanie optymalnych warunków temperaturowych bakterii.

2.2.3 Odczyn pH

Jeśli chodzi o odczyn pH, to obowiązują podobne zależności, jak w przypadku temperatury. Bakterie uczestniczące w poszczególnych etapach procesu posiadają różne odczyny pH, zapewniające ich optymalny wzrost. Optymalny odczyn pH bakterii hydrolizujących i kwasotwórczych wynosi od 4,5 do 6,3 [2-6]. Nie są one jednak zdane bezwzględnie na te wartości i mogą przeżyć również przy nieco wyższym odczynie pH. Wtedy jednak ich aktywność będzie znacznie mniejsza. Inaczej wygląda rzecz w przypadku bakterii produkujących kwas octowy i metan. Odczyn pH musi posiadać dokładnie wartość między 6,8 a 7,5 [2-2]. Jeśli proces fermentacji odbywa się tylko w jednym fermentatorze, to odczyn pH musi być ustalony w tym zakresie.

Niezależnie od tego, czy proces przebiega jedno- lub dwuetapowo, odczyn pH ustawia się przeważnie automatycznie poprzez obecność zasadowych lub kwaśnych produktów przemiany materii, powstających podczas rozkładu beztlenowego [2-1]. Poniższa reakcja łańcuchowa pokazuje, jak wrażliwa jest ta równowaga.

W normalnym przypadku odczyn pH jest utrzymywany w neutralnym zakresie poprzez wolny dwutlenek węgla [2-1]. Odczyn pH spada, jeśli wyczerpie się pojemność buforowa obecnego dwutlenku węgla. Aktywność bakterii metanowych uczestniczących w przemianie materii zostaje zahamowana. Ponieważ rozkład metanogeny nie działa teraz odpowiednio sprawnie, dochodzi do skupienia kwasów związanych z fermentacją octową, co powoduje jeszcze większe obniżenie odczynu pH. Następuje zakwaszenie procesu i bakterie przestają wykonywać swoją pracę. Jeśli zauważymy taki spadek odczynu pH, należy natychmiast zatrzymać doprowadzenie podłoża, aby dać bakteriom metanowym czas na rozkład występujących kwasów.

2.2.4 Dostarczanie składników pokarmowych

Procesy przebiegające w fermentatorze można porównać do tych, które mają miejsce w układzie pokarmowym przeżuwaczy. Dlatego bakterie reagują tak samo źle na „błędy żywieniowe”, jak zwierzęta. Co prawda wykorzystywane podłoża muszą przede wszystkim zapewniać jak największą produkcję metanu, to oprócz tego tak samo ważne jest występowanie pierwiastków śladowych i składników pokarmowych, takich jak żelazo, nikiel, kobalt, selen, molibden i wolfram, niezbędnych do wzrostu i przetrwania bakterii [2-2].

Ostateczna ilość metanu dająca się uzyskać z używanych podłoży jest określona poprzez zawartości białek, tłuszczu i węglowodanów.

Ponadto o stabilnym przebiegu procesu decyduje również stosunek C/N w używanym podłożu. Jeśli ten stosunek jest za wysoki (dużo C i mało N), nie może dojść do całkowitej przemiany węgla, a tym samym nie można uzyskać możliwego potencjału metanu. W odwrotnym przypadku, przy nadmiarze azotu może dojść do powstania amoniaku (NH_3), który już w niewielkich stężeniach hamuje wzrost bakterii i może doprowadzić nawet do zniszczenia całej populacji [2-2]. Do prawidłowego przebiegu procesu stosunek C/N musi wynosić w zakresie 10 – 30. Aby bakterie otrzymywały dostateczną porcję substancji pokarmowych, stosunek C:N:P:S powinien wynosić 600:15:5:1 [2-7].

2.2.5 Inhibitory

Występują różne powody zahamowania produkcji gazu wzgl. przebiegu procesu. Z jednej strony mogą one być związane z problemami technicznymi instalacji (por. rozdział 2.4). Z drugiej strony przyczyną opóźnień w przebiegu procesu mogą być inhibitory. Są to substancje, które już w niewielkich ilościach działają toksycznie na bakterie i zakłócają proces rozkładu. Chcąc opisać te substancje, musimy je podzielić na te, które dostają się do fermentatora poprzez dodanie podłoża, oraz te, które występują jako produkty pośrednie z poszczególnych etapów rozkładu.

Przy dostarczaniu składników pokarmowych należy sobie uświadomić, że również nadmierne podanie podłoża może zahamować proces fermentacji, ponieważ każda substancja składowa substratu podana w większych stężeniach może działać szkodliwie na bakterie. Dotyczy to szczególnie substancji takich jak antybiotyki, środki dezynfekujące lub rozpuszczalniki, środki chwastobójcze, sole lub metale ciężkie, które nawet w niewielkich ilościach mogą zahamować proces rozkładu. Ale nawet ważne pierwiastki śladowe mogą w wysokich stężeniach działać toksycznie na bakterie. Ponieważ bakterie do pewnego stopnia mogą się dopasować do takich substancji, stężenie, od którego substancja staje się szkodliwa jest trudne do określenia [2-1], [2-2]. W przypadku niektórych inhibitorów możemy mówić o wzajemnym oddziaływaniu z innymi substancjami. Metale ciężkie szkodzą procesowi fermentacji tylko wtedy, gdy występują w wolnej postaci. Siarkowodór, powstający w procesie fermentacji łączy się z metalami ciężkimi i powoduje ich neutralizację [2-1].

Podczas procesu fermentacji mogą powstać również inne zahamowujące proces substancje. Szczególnie amoniak (NH_3) nawet w niewielkich stężeniach działa szkodliwie na bakterie. Stanowi to równowagę względem stężenia amonu (NH_4) fermentatora (amoniak reaguje przy tym z wodą tworząc jony amonowy i jon OH^- oraz na odwrót). Oznacza to, że przy zwiększonym odczynie zasadowym pH, a więc przy podniesionym stężeniu jonów OH^- , równowaga się przesunęła i wzrasta stężenie amoniaku. Podczas gdy amoniak służy większości bakteriom jako źródło N, to już w niewielkich stężeniach (od 0,15 g/l) działa hamująco na mikroorganizmy [2-2]. Ponadto wysokie stężenie łączne NH_3 i NH_4 od 3000 mg/l może prowadzić do zahamowania procesu produkcji biogazu [2-6].

Innym produktem procesu fermentacji jest siarkowodór (H_2S), który w wolnej postaci jako trucizna komórkowa już przy stężeniu wynoszącym 50 mg/l może zahamować proces rozkładu. Siarka jest ponadto ważnym pierwiastkiem śladowym, a tym samym ważnym mikroelementem bakterii metanowych. Poza tym metale ciężkie poprzez połączenie z siarczkami (S^{2-}) ulegają neutralizacji [2-2].

Widzimy więc, że działanie hamujące różnych substancji zależy od wielu czynników a ustalenie stałych wartości granicznych, od których zaczyna się zahamowanie procesu jest bardzo trudnym zadaniem. Tabela 2-1 przedstawia wykaz inhibitorów:

Tabela 2-1: Inhibitory i ich szkodliwe stężenia [2-1]

inhibitor	stężenie
sód	między 6 a 30 g/l (w przystosowanych kulturach do 60 g/l)
potas	od 3 g/l
wapń	od 2,8 g/l CaCl_2
magnez	od 2,4 g/l MgCl_2
jon amonowy	2,7 – 10 g/l
amoniak	od 0,15 g/l
siarka	od 50 mg/l H_2S , 100 mg/l S^{2-} , 160 mg/l Na_2S (w przystosowanych kulturach do 600 mg/l Na_2S i 1000 mg/l H_2S)
metale ciężkie	<u>jako wolne jony</u> : od 10mg/l Ni, od 40 mg/l Cu, od 130 mg/l Cr, od 340 mg/l Pb, od 400 mg/l Zn <u>w formie węglanowej</u> : od 160 mg/l Zn, od 170 mg/l Cu, od 180 mg/l Cd, od 530 mg/l Cr^{3+} , od 1750 mg/l Fe <i>metale ciężkie mogą być wylapywane i neutralizowane przez siarczki</i>
rozgałęzione kwasy tłuszczowe	kwas izomasłowy: działa hamująco już od 50 mg/l

2.3 Parametry procesowe

2.3.1 Obciążenie objętościowe i czas aktywności fermentatora

Przy budowie instalacji biogazowej na pierwszym planie stawiamy przeważnie względy ekonomiczne. Przy wyborze wielkości fermentatora nie dążymy więc za wszelką cenę do maksymalnego uzysku gazu wzgl. całkowitego rozkładu masy organicznej znajdującej się w podłożu. Jeśli chcielibyśmy uzyskać całkowity rozkład substancji organicznych, musielibyśmy liczyć się między innymi z bardzo długim okresem przebywania podłoża w fermentatorze, a co za tym idzie z posiadaniem bardzo dużego zbiornika, ponieważ niektóre substancje ulegają rozkładowi po bardzo długim czasie - o ile w ogóle.

Musimy więc dążyć do tego, aby przy możliwym do przyjęcia nakładzie środków uzyskać optymalną wydajność rozkładu.

W tym aspekcie duże znaczenie ma parametr obciążenia objętościowego. Parametr podaje, ile kilogramów organicznej substancji suchej (oss) trzeba podać na objętość jednego m³ do fermentatora [2-1].

$$B_R = \frac{\dot{m} \times c}{V_R}$$

Równanie 2-1: obciążenie objętościowe B_R ($\dot{m}$ = podana ilość podłoża w jednostce czasu [kg/d]; c = stężenie substancji organicznej [%]; V_R = objętość reakcji [l])

Innym parametrem przy ustalaniu wielkości zbiornika jest hydrauliczny czas aktywności. Jest to czas, w jakim podane podłoże pozostaje w środku, aż do rozkładu w fermentatorze [2-1]. W celu obliczenia musimy postawić objętość reaktora (V_R) w stosunku do podanej ilości podłoża ($\dot{V}$) i otrzymujemy hydrauliczny czas aktywności (HRT; hydraulic retention time) fermentatora [2-2].

$$HRT = \frac{V_R}{\dot{V}}$$

Równanie 2-2: Hydrauliczny czas aktywności

Między tymi dwoma parametrami istnieje wąska zależność, ponieważ wraz ze wzrastającym obciążeniem objętościowym musimy podać więcej podłoża do fermentatora, dzięki czemu skraca się czas aktywacji. Aby móc zachować proces fermentacji, hydrauliczny czas aktywacji musimy wybrać w taki sposób, aby poprzez ciągłą wymianę zawartości reaktora nie dochodziło do usuwania większej ilości bakterii, niż w tym samym czasie mogłyby się namnożyć (np. prędkość podwojenia niektórych bakterii beztlenowych wynosi 10 dni i dłużej) [2-1]. Poza tym musimy pamiętać, że przy krótszym czasie aktywności bakterii pozostaje mniej czasu do rozkładu podłoża. W tak samo ważnym stopniu jest więc istotne dopasowanie czasu aktywności do charakterystycznej prędkości rozkładu używanych podłoży. Znając dzienną ilość podawanego podłoża możemy w połączeniu ze stopniem rozkładu podłoża i żądanym czasem aktywności obliczyć wymaganą objętość reaktora.

2.3.2 Przemieszczenie

Aby uzyskać wysoki stopień produkcji biogazu, musimy zapewnić dobry kontakt bakterii i podłoża, który ogólnie możemy uzyskać poprzez przemieszczenie zbiornika z fermentowanym podłożem [2-1].

Jeśli od czasu do czasu nie przemieszczamy zawartości zbiornika, to po pewnym czasie zaobserwujemy rozkład zawartości z jednoczesnym wytworzeniem się różnych warstw, co spowodowane będzie różnymi gęstościami poszczególnych substancji składowych podłoży.

Większa część masy bakterii, z powodu większej gęstości osadza się w dolnej części, podczas gdy rozkładane podłoże najczęściej zbiera się w górnej warstwie. W takim przypadku dochodzi do znacznego ograniczenia kontaktu między podłożem a bakteriami, a to z kolei powoduje powolniejszy proces rozkładu. Dodatkowo z substancji unoszących się na powierzchni powstaje warstwa utrudniająca przepuszczanie gazów [2-8].

Z tego powodu bardzo ważne jest regularne mieszanie zawartości zbiornika, które pomaga w utrzymaniu kontaktu bakterii z podłożami. Jednocześnie musimy uważać, aby nie przesadzić z intensywnością mieszania. Szczególnie bakterie octowe (uczestniczące w tworzeniu kwasu octowego) i metanowe tworzą zwarte skupiska, które mają duże znaczenie w prawidłowym przebiegu procesu produkcji biogazu. Jeśli poprzez zbyt intensywne mieszanie naruszymy te skupiska, w najgorszym wypadku możemy doprowadzić do całkowitego zaniechania całego procesu.

Musimy więc poszukać kompromisu, aby sprostać w odpowiednim stopniu obu warunkom. W praktyce stosuje się więc po pierwsze wolnoobrotowe mieszadła o małej sile tnącej, a po drugie okresowe przemieszanie zawartości zbiornika (to znaczy tylko przez określony, krótki czas).

2.3.3 Potencjał produkcyjny gazu i aktywność metanogenna

2.3.3.1 Możliwe uzyski gazów

Ilość biogazu, jaką możemy wyprodukować w instalacji biogazowej zależy zasadniczo od składu podawanych podłoży.

W praktyce wykonanie odpowiednich obliczeń jest praktycznie niemożliwe, ponieważ z reguły nie znamy stężeń poszczególnych substancji pokarmowych wchodzących w skład przeważnie podłoży mieszanych. Ponadto we wszystkich obliczeniach tego rodzaju przyjmuje się stan stuprocentowego rozkładu substancji organicznej, co w praktyce jest niemożliwe.

Ponieważ między procesami rozkładu w instalacji biogazowej a procesami trawienia u przeżuwaczy istnieją cechy wspólne, możemy na podstawie treści pokarmowych oraz przyswajalności organizmów zwierząt obliczyć teoretyczny uzysk biogazu [2-9]. Potrzebne do tego parametry możemy uzyskać z tabel wartości pokarmowych pasz (DLG), w których zebrano dane o zawartości popiołu (RA), włókna surowego (RF), tłuszczu (RL), białka (RP) bezazotowych substancji wyciągowych (NfE) odnoszących się do substancji suchej (TS) z analizy PASZ oraz ich przyswajalności (VQ). Zawartości RF i NfE tworzą wspólnie zawartość węglowodanów.

Do poszczególnych grup substancji możemy przyporządkować charakterystyczne uzyski gazu oraz zawartości metanu, wynikające z różnych względnych zawartości węgla (tabela 2-2) [2-7]:

Tabela 2-2: Charakterystyczny uzysk biogazu i zawartość metanu

	uzysk biogazu [l/kg s.m.o.]	zawartość metanu [% obj.]
przyswajalne białko (RP)	600 – 700	70 – 75
przyswajalny tłuszcz (RL)	1.000 – 1.250	68 – 73
przyswajalne węglowodany (RF + NfE)	700 - 800	50 – 55

Na podstawie tych danych możemy obliczyć jedynie suchą masę organiczną oraz daną masę przyswajalnych grup substancji na jeden kg substancji suchej [2-9]:

zawartość s.m.o.:

$$(1000 - \text{popiołu surowego})/10 \quad [\% \text{ s.m.}]$$

białko przyswajalne:

$$(\text{białko surowe} * VQRP)/1000 \quad [\text{kg/kg s.m.}]$$

przyswajalny tłuszcz:

$$(\text{tłuszcz surowy} * VQRL)/1000 \quad [\text{kg/kg s.m.}]$$

przyswajalne węglowodany:

$$((\text{włókna surowe} * VQRF) + (NfE * VQNfE))/1000 \quad [\text{kg/kg s.m.}]$$

Jak już wspomnieliśmy na początku niniejszego rozdziału, istnieją duże podobieństwa między procesami zachodzącymi w żwaczach przeżuwaczy a procesami rozkładu w instalacjach biogazowych. Procesy możemy porównywać tylko pod pewnymi warunkami, ponieważ w obu układach może dochodzić do różnych efektów współpracy, wynikających z produkcji biogazu. Z tego powodu zaprezentowana metoda obliczeniowa stanowi jedynie orientacyjną wartość rzeczywistego uzysku gazu i metanu i **nie** można jej stosować do kalkulacji użytkowych ani ekonomicznych!

Mimo to metoda ta stanowi szacunkowy uzysk biogazu oraz porównanie uzysku z różnych podłoży.

Pozostałe obliczenia podano na przykładzie kiszonki kukurydzy (początek dojrzałość do uzyskania mączki, pełne kolby) (tabela 2-3)

Tabela 2-3: Kiszonka kukurydzy, dojrzałość do uzyskania mączki, pełne kolby (przykład)

ss	popiół surowy (RA)	białko surowe (RP)	VQRP	tłuszcz surowy (RL)	VQRL	włókno surowe (RF)	VQRF	NfE	VQNfE
%	g/kg s.m.	g/kg s.m.	%	g/kg s.m.	%	g/kg s.m.	%	g/kg s.m.	%
29	53	92	57	42	82	185	63	628	78

Wyliczenia

zawartość s.m.o.:

$$(1000 - 53)/10 = \underline{94,7 \% \text{ [s.m.]}}$$

białko przyswajalne:

$$(92 * 57\%)/1000 = \underline{0,0524 \text{ [kg/kg s.m.]}}$$

przyswajalny tłuszcz:

$$(42 * 87\%)/1000 = \underline{0,03654 \text{ [kg/kg s.m.]}}$$

przyswajalny węglowodany:

$$((185 * 63\%) + (628 * 78\%))/1000 = \underline{0,606 \text{ [kg/kg s.m.]}}$$

Wyliczenia mas grup substancji na jeden kg s.m.o.:

białko przyswajalne:

$$0,0524 \text{ kg/kg ss} * 94,7 \% \text{ oss} = \underline{0,0496 \text{ [kg/kg s.m.o.]}}$$

przyswajalny tłuszcz:

$$0,0365 \text{ kg/kg ss} * 94,7 \% \text{ oss} = \underline{0,0346 \text{ [kg/kg s.m.o.]}}$$

przyswajalny węglowodany:

$$0,606 \text{ kg/kg ss} * 94,7 \% \text{ oss} = \underline{0,574 \text{ [kg/kg s.m.o.]}}$$

Rezultaty mnoży się przez odpowiednie wartości (patrz tabela 2-2) i otrzymuje się uzyski biogazu i metanu takie, jak przedstawia tabela 2-4.

Tabela 2-4: Uzyska biogazu i metanu z kiszonki kukurydzy (wartości średnie)

	uzysk biogazu [l/kg s.m.o.]	uzysk metanu [l/kg s.m.o.]
przyswajalne białko (RP)	34,72	25,2
przyswajalny tłuszcz (RL)	43,25	30,5
przyswajalne węglowodany (RF + NfE)	453,46	238,1
suma (na jeden kg s.m.o.)	513,43	293,8

Na każdy kg świeżej masy przypada 145,9 litra biogazu o zawartości metanu około 57%. Jak pokazaliśmy na przykładzie, możemy w stosunkowo łatwy sposób obliczyć szacowany uzysk biogazu oraz zawartość metanu w biogazie w odniesieniu do dowolnego podłoża.

Poza tym występują inne czynniki, takie jak czas aktywności podłoża w reaktorze, zawartość substancji suchej, ewent. występujące inhibitory i temperatura fermentacji.

Poprzez wzrost czasu aktywności poprawia się wydajność rozkładu, a co za tym idzie również zwiększa się produkcja gazu. Wraz z upływającym czasem aktywności uwalnia się coraz więcej metanu, co w konsekwencji jest powodem wzrostu wartości grzewczej mieszaniny gazowej.

Wraz ze wzrostem temperatury wzrasta również szybkość procesów rozkładu. Jest to możliwe tylko w ograniczonej mierze, ponieważ po przekroczeniu maksymalnej temperatury bakterie mogą ulec uszkodzeniu, co spowoduje odwrotny efekt do zamierzonego. Oprócz wzrostu produkcji gazu uwalnia się więcej dwutlenku węgla, co znowu prowadzi do pogorszenia się wartości grzewczej mieszaniny gazów.

Zawartość substancji suchej w fermentatorze (zawartość s.m.) może wpływać na uzysk gazu ze względu na dwie rzeczy. Po pierwsze bakterie przy wysokich zawartościach s.m. mogą mieć problemy z poruszaniem się i docierając tylko do części podłoża mogą powodować tylko częściowy rozkład. Przy bardzo wysokich zawartościach suchej masy wynoszącej od 40% i więcej, może nawet dojść do całkowitego przerwania procesu fermentacji, ponieważ zabraknie dostatecznej wilgoci potrzebnej do wzrostu komórek. Po drugie ze względu na wysokie zawartości suchej masy może dojść do problemów z inhibitorami, ponieważ przy niskiej zawartości wilgoci mogą one występować w stężonej formie. Również obróbka wstępna używanych podłoży (rozdrabnianie, ujednoludnienie itp.) może spowodować wzrost uzysku, ponieważ podłoże jest lepiej dostępne [2-4].

2.3.3.2 Jakość gazu

Biogaz składa się z mieszaniny różnych gazów, wśród których około jedna trzecia to dwutlenek węgla (CO_2) i dwie trzecie to metan (CH_4) oraz para wodna i różne gazy śladowe.

Z punktu widzenia użytkownika instalacji biogazowej, w pierwszym rzędzie powinna liczyć się zawartość metanu, a więc procentowy udział metanu w całej mieszaninie gazów, ponieważ z metanu powstaje cała odzyskiwana energia. Chociaż skład biogazu może wpływać tylko w ograniczonym stopniu na zawartość metanu, to zawartość ta będzie zależała od takich czynników, jak zawartość wody w podłożu, temperatura fermentowania, aktywny czas oraz przygotowanie podłoża oraz stopień rozkładu podłoża [2-1].

Uzysk metanu będzie przy tym zależał w szczególności od składu podawanego podłoża, a więc zawartości tłuszczów, białek i węglowodanów [2-10]. Charakterystyczne uzyski metanu z tych grup substancji zmniejszają się przy tym w wymienionej kolejności. W odniesieniu do masy, z tłuszczów można otrzymać większy uzysk metanu niż z węglowodanów.

Ze względu na czystość mieszaniny gazów, ważną rolę odgrywa stężenie gazu śladowego, jakim jest siarkowodor (H_2S). Z jednej strony nie powinno być go zbyt dużo, ponieważ już w bardzo małym stężeniu hamuje proces rozkładu, a z drugiej strony większe stężenia H_2S w biogazie prowadzą do korozji bloków ciepłno - energetycznych oraz kotłów grzewczych [2-1].

Tabela 2-5: Średni skład biogazu według [2-1]

element składowy	stężenie
metan (CH ₄)	50 – 75% obj.
dwutlenek węgla (CO ₂)	25 – 45% obj.
woda (H ₂ O)	2 – 7% obj. (20-40°C)
siarkowodór (H ₂ S)	20 – 20 000 ppm
azot (N ₂)	< 2% obj.
tlen (O ₂)	< 2% obj.
wodór (H ₂)	< 1% obj.

2.4 Przyczyny zakłóceń procesu

2.4.1 Temperatura

W praktycznych warunkach użytkowania instalacji biogazowych istnieje wiele przyczyn spadku temperatury procesu. Ogrzewaniu fermentatora przypisuje się w umiarkowanym klimacie, w jakim leży Polska, podstawowe znaczenie, a przy nagłym przerwaniu ogrzewania temperatura fermentacji może relatywnie szybko spaść o kilka stopni. Niekoniecznie musi to być związane z usterką ogrzewania, co pokazuje następujący scenariusz.

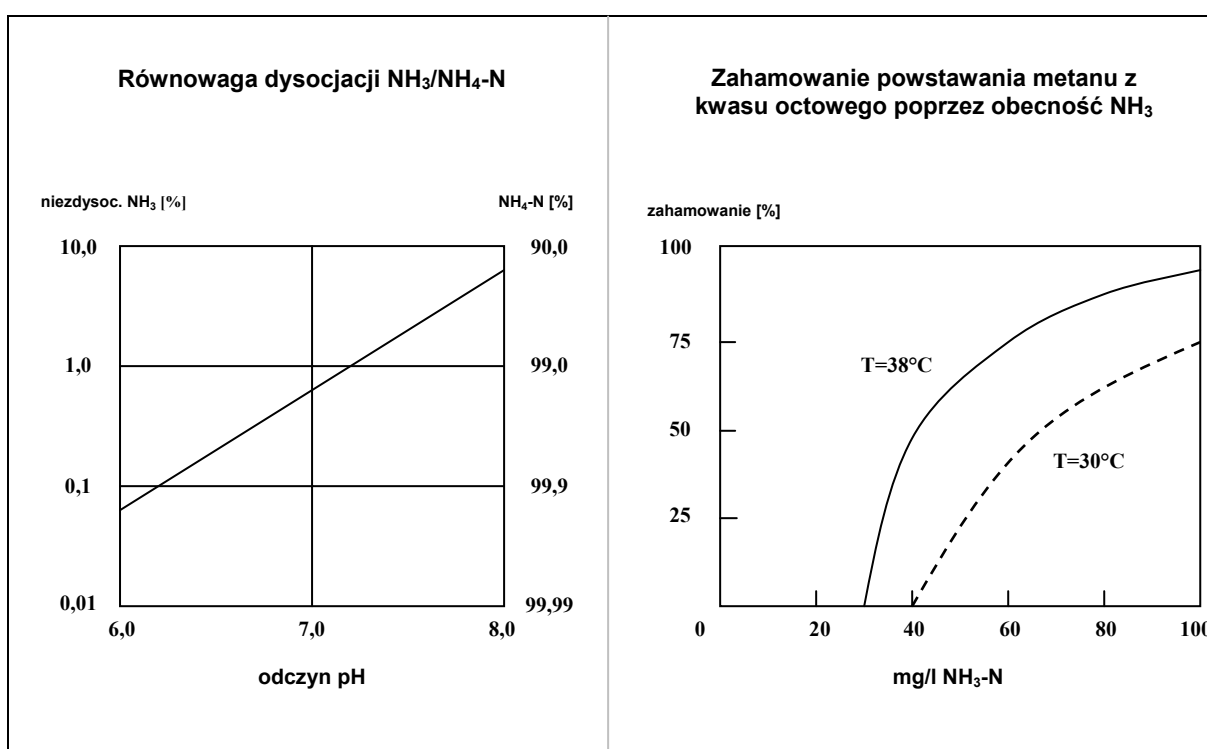
Awaria bloku ciepłno - energetycznego powoduje, że po pewnym czasie brakuje ciepła potrzebnego do ogrzewania fermentatora. Spadek temperatury hamuje aktywność bakterii metanowych, ponieważ mogą one przeżyć tylko w ściśle ograniczonym zakresie temperatur [2-3]. Bakterie hydrolizujące i octowe nie są aż tak wrażliwe na wahania temperatur i mogą przeżyć w niższych temperaturach. Z tego powodu w fermentatorze dochodzi do nagromadzenia się kwasów, przede wszystkim jeśli z porę nie zostanie zatrzymane dostarczanie podłoża.

W takim wypadku oprócz występującego już obniżenia temperatury dochodzi dodatkowo do spadku odczynu pH wraz z zakwaszeniem całego procesu. Również podanie większych ilości nieogrzanego podłoża lub niedostateczne ogrzewanie fermentatora np. z powodu usterki czujników temperatury, może być przyczyną spadku temperatury w fermentatorze. Z tego powodu, aby zapewnić skuteczne użytkowanie instalacji należy bezwzględnie regularnie kontrolować temperaturę fermentacji.

2.4.2 Tworzenie amoniaku (NH_3)

Jak już wspomnieliśmy w rozdziale 2.2.5, tworzenie amoniaku jest ściśle związane z dominującym odczynem pH w roztworze. Równowaga między jonem amonowym (NH_4) a amoniakiem (NH_3) wraz ze wzrostem odczynu pH przesuwa się w stronę amoniaku [2-11]. Ponadto działanie amoniaku powodujące zahamowanie procesu przybiera na sile wraz ze wzrostem temperatury, co wpływa szczególnie na termofilne instalacje biogazowe (por. rysunek 2-2).

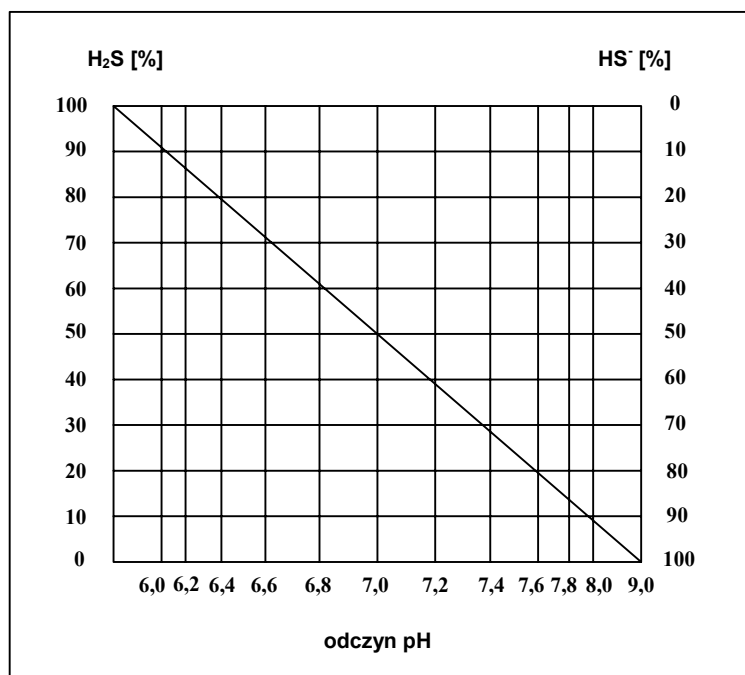
Ale również wybór podłoży oddziałuje na tworzenie się amoniaku, przede wszystkim poprzez odfermentowanie podłoży o wysokiej zawartości białka dochodzi do uwolnienia zdwojonej ilości azotu amonowego [2-7].



Rysunek 2-2: Zahamowanie powstawania metanu z kwasu octowego poprzez obecność NH_3 według [2-11]

2.4.3 Siarkowodór (H_2S)

Jeśli chodzi o tworzenie siarkowodoru, obowiązują takie same zależności, jak przy powstawaniu amoniaku. Siarka występuje tu albo w formie niezdysocjowanej (HS^- , S^{2-}) w fazie płynnej albo jako siarkowodór (H_2S) w mieszaninie gazów oraz w cieczy (patrz rysunek 2-3) [2-11].



Rysunek 2-3: Zawartość HS^- i H_2S w zależności od odczynu pH według [2-11]

Zawartość uwolnionego H_2S w stanie płynnym, zależy od stężenia H_2S w stanie ciekłym oraz ciśnienia cząstecowego siarkowodoru w stanie gazowym (prawo Henry'ego). Oprócz tego na ten stan równowagi wpływają inne czynniki. Wraz ze wzrostem temperatury wzrasta zawartość uwalnianego H_2S w stanie ciekłym, jednak wraz ze wzrostem produkcji gazu wzrasta również ciśnienie cząstecowe w stanie gazowym, a tym samym zawartość uwalnianego H_2S [2-7] [2-11].

Rysunek 2-3 przedstawia związek powstawania

amoniaku z dominującym odczynem pH. Stężenie uwolnionego H_2S w reaktorze wzrasta wraz ze zmniejszającym się odczynem pH.

2.4.4 Błędy w podawaniu podłoża

Bardzo często w nowowytbudowanych instalacjach już w fazie początkowej rozruchu dochodzi do problemów związanych ze zbyt małym uzyskiem gazu lub zbyt wysokim stężeniem kwasów. W najgorszym wypadku może to spowodować konieczność wymiany całej zawartości reaktora i ponowne zainicjowanie procesu fermentacji.

Zaszczepianie fermentatora

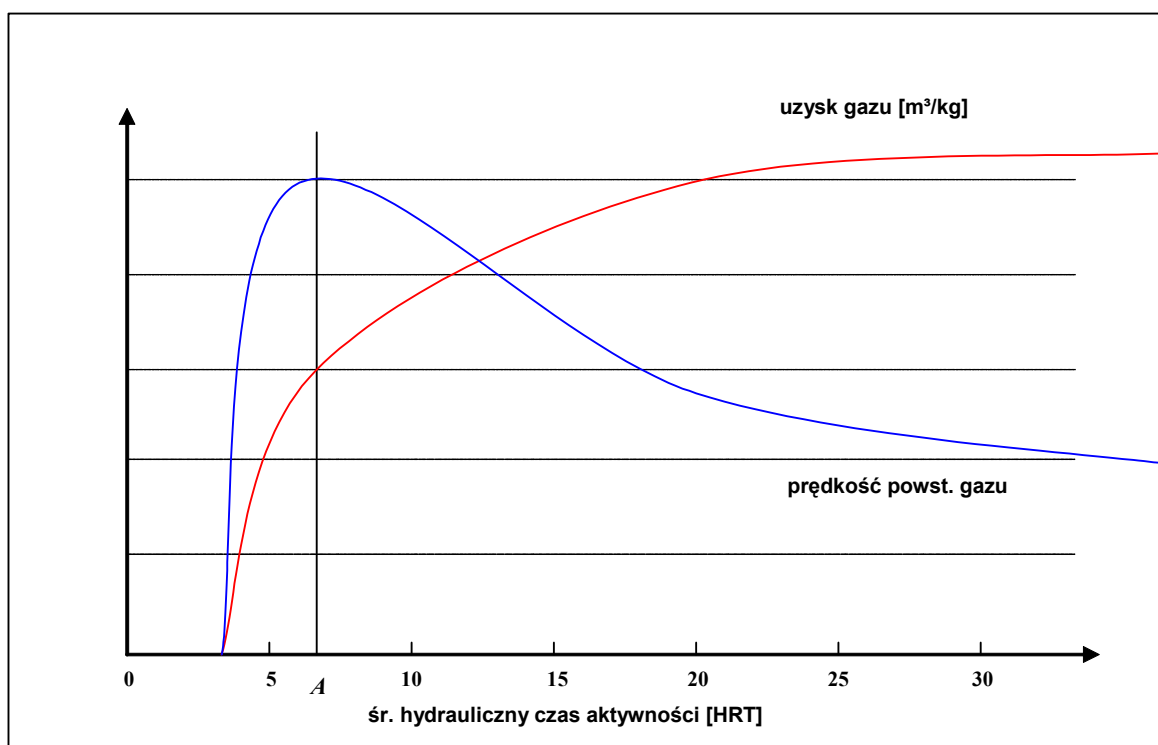
Już w fazie zaszczepiania fermentatora musimy pamiętać o kilku rzeczach, które zagwarantują nam późniejszy wysoki uzysk gazu. Zaszczepienie większości instalacji biogazowych odbywa się w większości przypadków gnojowicą bydlęcą, ponieważ to podłoże posiada już odpowiednie stężenie wymaganych bakterii. Poza tym aktywność instalacji biogazowych jest na początku niska z uwagi na niską wartość pokarmową podłoża i musi dopiero uzyskać maksymalną wydajność rozkładu [2-2].

Podczas tak zwanej fazy rozruchu ważne jest, aby podawane podłoże posiadało możliwie stały skład, pozwalający bakteriom na stabilny rozwój. Wyraźne wahania w składzie podłoża ewent. ciągłe zmiany podłoża oznaczają również ciągłe zmiany warunków życia, do których bakterie będą się musiały dostosować. Z uwagi na fakt, że bakterie rozwijają się często tylko na określonych podłożach, nie może być mowy o stabilnym rozkładzie.

Już na początku rozruchu instalacji ważne jest, aby ilość podłoża, a więc obciążenie objętościowe, było zwiększane powoli i małymi krokami, aby dać bakteriom (szczególnie metanowym) odpowiednią ilość czasu na wzrost [2-2]. Jeśli podamy za dużo podłoża, to z powodu powolnego rozwoju bakterii metanowych może dojść do zakwaszenia całego procesu, ponieważ półprodukty powstałe w poprzednich fazach rozkładu nie zdążą ulec rozkładowi.

Ciągłe użytkowanie

Bezpośrednio po fazie rozruchu rozpoczyna się normalne użytkowanie instalacji (rysunek 2-4). Powolne zwiększanie ilości podawanego podłoża pozwoliło na uzyskanie w fazie rozruchu maksymalnej prędkości wzrostu bakterii.



Rysunek 2-4: Uzysk biogazu i prędkość powstawania gazu w zależności od czasu aktywności według [2-12]

Czas aktywności stanowi okres przebywania podłoża w instalacji do momentu zastąpienia go nowym podłożem i przez to stanowi bezpośrednią miarę obciążenia fermentatora materiałem organicznym, ponieważ bakteriom o krótkim czasie aktywności pozostaje mniej czasu do rozkładu materiału. Rysunek 2-4 pokazuje, że przy mniejszym obciążeniu (a przy tym większym czasie aktywności) reaktora uzyskuje się również wyższy uzysk

biogazu na jeden kg podanego podłoża. Przedstawiona prędkość powstawania gazu jako miara produktywności jest niska przy tym sposobie użytkowania.

Wraz ze wzrostem ilości podawanego podłoża wzgl. krótszym czasem aktywności wzrasta co prawda produktywność bakterii, ale jednak ze względu na wzrastające obciążenie oraz krótszy okres aktywności spada nieznacznie uzysk gazu. Następnie prędkość produkcji gazu wzrasta wraz z zwiększeniem obciążenia fermentatora (punkt A). Z powodu wzrastającej ilości podawanego podłoża w jednostce czasu, bakterie nie są w stanie rozłożyć coraz większej ilości materiału, w konsekwencji czego spada prędkość produkcji gazu.

Jeśli ponownie skrócimy czas aktywności, bardzo szybko dojdzie do przerywania produkcji gazu, ponieważ w takim wypadku poprzez częstą wymianę podłoża usuwa się więcej bakterii, niż może się w tym samym czasie namnożyć.

Podczas normalnego użytkowania fermentatora musimy więc pamiętać o powolnym zwiększaniu ilości podawanego podłoża oraz o nieprzekraczaniu maksymalnej ilości podłoża. Powinniśmy również unikać nagłych zmian w składzie podłoża, ponieważ wpływa to również ujemnie na produkcję gazu. Jeśli musimy wymienić podłoża, starajmy się więc zrobić to ostrożnie, aby umożliwić bakteriom przystosowanie się do nowych warunków życia.

W praktyce nie można uzyskać maksymalnej produkcji. Skuteczność kształtuje się w okolicy prawej strony punktu A, ponieważ w tym miejscu proces jest mniej podatny na wahania spowodowane ilością podawanego podłoża oraz jego składem. Im bliżej zbliżymy się do punktu A, tym bardziej niestabilny będzie proces rozkładu jeśli chodzi o wahania i nieregularności w użytkowaniu. W tym zakresie już niewielkie błędy mogą stać się przyczyną przerywania procesu rozkładu. Musimy więc poszukać kompromisu między stabilnością procesu fermentacji a produkcją gazu.

Wpływ podłoża na proces fermentacji

Jakość podłoża ma duży wpływ na ilość i jakość produkowanego biogazu, dlatego też może zająć konieczność przeprowadzenia obróbki wstępnej podłoża. Zasadniczo musimy pamiętać o zasadzie, że podłoże musi posiadać jak najlepszą jakość. Przykładowo użycie resztek pasz lub podłoży o silnym zagrzybieniu lub zepsuciu może doprowadzić do przerywania produkcji gazu i powstania piany. Przestrzeganie zasady stosowania tylko takich podłoży, które byłyby równie dobre na pasze bydła, pozwoli uniknąć ewentualnych problemów.

Wstępna obróbka podłoży pozwoli na lepszą dostępność materiału do przeprowadzenia rozkładu biologicznego, a co za tym idzie większy uzysk gazu. Może być również niezbędna do bezusterkowego użytkowania bioinstalacji. Musimy przykładowo usunąć substancje obce (kamienie, elementy metalowe, plastik) nie ulegające rozkładowi (piasek, drewno itp.).

Wstępnej obróbki polegającej na rozdrobnieniu wymagają w szczególności podłoża, takie jak siano lub resztki poźniwne.

Jest to podyktowane tym, że poprzez rozdrobnienie zwiększa się powierzchnia podłoża, a tym samym bakterie mogą szybciej przeprowadzać proces rozkładu. Bez wcześniejszego rozdrobnienia niektórych podłoży mogłoby się zdarzyć, że z powodu krótkich czasów aktywności podłoże uległoby tylko częściowemu rozkładowi i potencjał biogazu nie zostałby maksymalnie wykorzystany.

Odczyn pH ma również duży wpływ na przebieg całego procesu. Jest to spowodowane tym, że w czasie trwania procesu istnieje delikatna równowaga pH, która może się wahać tylko w pewnym zakresie.

Jeśli do fermentatora dostanie się większa ilość podłoża o niższym odczynie pH (np. kwaśne ścieki lub kiszonka), może to doprowadzić do zahamowania procesu rozkładu. W takiej sytuacji przed doprowadzeniem podłoża do fermentatora konieczne będzie przeprowadzenie regulacji odczynu pH poprzez np. dodanie ługu. Poprzez wyraźne różnice w odczynie pH między zawartością fermentatora a podawanym podłożem może również dojść do silnego spienienia, ponieważ wtedy ze stanu ciekłego uwalnia się CO₂.

Również poprzez niewłaściwy wybór podłoży ewent. skład podłoży może dojść do zakłóceń procesu fermentacji. Ponieważ zasadniczo uzysk gazu i jego jakość zależą do zawartości tłuszczów, białek i węglowodanów w podłożu, zaleca się używanie podłoży, które posiadają jak największe stężenie tych grup substancji. Może to funkcjonować w niektórych przypadkach lub również przez pewien okres czasu. Ponieważ jednak bakterie do przeżycia oprócz tych składników potrzebują również innych substancji pokarmowych oraz pierwiastków śladowych, niedobór tych pozostałych substancji może spowodować wyraźne zubożenie procesu oraz uniemożliwić uzyskanie zakładanego efektu. Również w tym miejscu niezbędne będzie poszukanie kompromisu między wysoką produkcją gazu a dobrym dostarczaniem substancji pokarmowych.

2.5 Spis literatury

- [2-1] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- [2-2] Braun, R.: Biogas – Methangärung organischer Abfallstoffe; Springer Verlag Wien, New York, 1982
- [2-3] Kloss, R.: Planung von Biogasanlagen; Oldenbourg Verlag München, Wien, 1986
- [2-4] Schattner, S.; Gronauer, A.: „Methangärung verschiedener Substrate – Kenntnisstand und offene Fragen“, Gülzower Fachgespräche, tom 15: Energetische Nutzung von Biogas: „Stand der Technik und Optimierungspotenzial“, str. 28-38, Weimar 2000
- [2-5] Weiland, P., „Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und –erzeugung in Deutschland“, Gülzower Fachgespräche, tom 15: Energetische Nutzung von Biogas: „Stand der Technik und Optimierungspotenzial“, str. 8-27, Weimar 2000
- [2-6] Wellinger, A.; Baserga, U.; Edelman, W.; Egger, K.; Seiler, B., Biogas-Handbuch, Grundlagen – Planung – Betrieb landwirtschaftlicher Anlagen, Verlag Wirz – Aarau, 1991
- [2-7] Weiland, P.: Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte, Nr. 1620 „Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven“; str. 19-32; VDI-Verlag 2001
- [2-8] Maurer, M.; Winkler, J-P., Biogas – Theoretische Grundlagen, Bau und Betrieb von Anlagen, Verlag C.F.Müller, Karlsruhe, 1980
- [2-9] Biogasanlagen zur Vergärung nachwachsender Rohstoffe; Tagungsband; Barnstorfer Biogastagung 2000; Ländliche Erwachsenenbildung Niedersachsen (LEB)
- [2-10] Merkblatt ATV-DVWK-M 363 „Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen“, ATV-DVWK, 2002
- [2-11] Kroiss, H.: Anaerobe Abwasserreinigung; Wiener Mitteilungen Bd. 62; Technische Universität Wien, 1985
- [2-12] Biogas in der Landwirtschaft – Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg; Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg; Potsdam 2001

3 Technika instalacji do wytwarzania biogazu

Technika instalacji do wytwarzania biogazu charakteryzuje się bardzo szerokim spektrum, które zostanie przedstawione w niniejszym rozdziale. Możliwości kombinowania komponentów i agregatów są tutaj prawie nieograniczone. Z tego też powodu poszczególne agregaty zostały poddane dyskusji na przykładach technicznych. Jednakże dla konkretnego przypadku zastosowania zachodzi konieczność, aby wykwalifikowany personel przeprowadził specyficzną dla danego przypadku ocenę przydatności agregatów i systemu oraz odpowiednie dopasowanie osiągnięć.

Przy budowie instalacji biogazowych szeroko rozpowszechnioną praktyką jest realizacja zlecenia na kompletną instalację od początku do końca przez jednego i tego samego wykonawcę, z czego dla inwestora wynikają pewne zalety jak i również wady. Mając do czynienia z jednym oferentem można uznać za korzystny fakt, że zastosowane tutaj technologie zazwyczaj są kompatybilne i że wykonawca daje gwarancję zarówno na poszczególne agregaty jak i na całą instalację. A takie rozwiązanie obejmuje również funkcjonalność, która dotyczy wytwarzania biogazu. Odbiór inwestycji jest często ustalany dopiero na moment po uruchomieniu instalacji, dzięki czemu ryzyko tej relatywnie trudnej fazy rozruchu przechodzi na producenta instalacji. Z kolei niekorzystny jest tutaj dosyć niewielki wpływ inwestora na zestawienie poszczególnych technologii, który mógłby prowadzić do obniżenia kosztów.

3.1 Charakterystyka i różnice między poszczególnymi wariantami metod

Wytwarzanie biogazu na drodze fermentacji beztlenowej można przeprowadzać stosując metody w różnych wariantach. Typowe warianty metody produkcyjnej przedstawia tabela 3-1.

Tabela 3-1: Klasyfikacja metod wytwarzania biogazu według różnych kryteriów

Kryterium	Cechy różnicujące
Liczba etapów procesu technologicznego	jednoetapowy dwuetapowy wieloletowy
temperatura procesu technologicznego	psychrofilowa mezofilowy termofilowa
Tryb napełniania materiałem	nieciągły quasi-ciągły ciągły
Zawartość substancji suchej w substratach	fermentacja mokra fermentacja sucha

3.1.1 Liczba etapów procesu technologicznego

W biogazowniach rolniczych najczęstsze zastosowanie znajduje jedno- bądź dwuetapowa metoda produkcyjna, przy czym główne zainteresowanie skupia się na instalacjach jednoetapowych [3-1].

W instalacjach jednoetapowych nie występuje przestrzenne rozdzielanie różnych faz procesu technologicznego fermentacji (hydrolizy, fazy zakwaszania, tworzenia kwasu octowego i metanu). Wszystkie fazy procesu technologicznego są przeprowadzane w jednym zbiorniku.

Natomiast w metodach dwu- lub wieloetapowych dokonuje się przestrzennego oddzielenia poszczególnych faz procesu technologicznego na różne zbiorniki. W metodach dwuetapowych na przykład faza hydrolizy i zakwaszania jest przeprowadzana w zbiorniku zewnętrznym.

3.1.2 Temperatura procesu technologicznego

Biogazownie mezofilowe eksploatuje się w przedziale temperatur między 32 a 38°C, natomiast termofilowe w zakresie od 42 do 55°C, przy czym wymienione tutaj granice są płynne. Ponadto temperatura fermentatora może być optymalizowana w zależności od zastosowanego substratu. W zakresie mezofilowym pracuje 85 % biogazowni rolniczych. Instalacje pracujące w zakresie termofilowym są częściowo skombinowane z mezofilowym etapem procesu technologicznego [3-2].

3.1.3 Tryb napełniania

Napełnianie czy też żywienie biogazowni jest w znacznym stopniu zdeterminowane przez dostępność świeżego substratu dla mikroorganizmów a tym samym oddziałuje na uwalnianie biogazu. Zasadniczo istnieje podział rozróżniający ciągły, quasi-ciągły i nieciągły sposób napełniania.

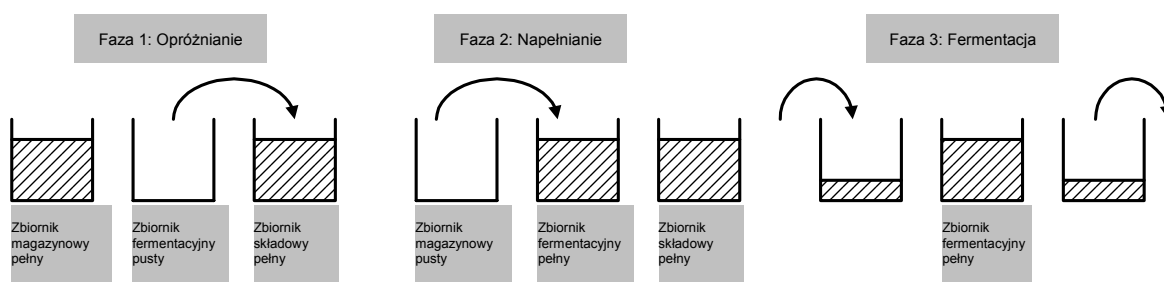
3.1.3.1 Napełnianie nieciągłe

Mówiąc o nieciągłym sposobie napełniania rozróżnia się między procesem okresowym (batchowym) a metodą zbiorników wymiennych. Napełnianie nieciągłe ma największe znaczenie w fermentacji suchej.

Proces okresowy

W procesie okresowym zbiornik fermentacyjny jest kompletnie napełniany świeżym substratem i hermetycznie zamykana z odcięciem dostępu powietrza. Aż do końca zadanego okresu przetrzymania (retencji) substrat pozostaje w zbiorniku, przy czym w międzyczasie nie dodaje się doń nowych ani nie wybiera żadnych porcji substratu. Po upływie zadanego czasu przetrzymania pobytu fermentator zostaje opróżniony i zapełniony nowym wsadem substratu, przy czym na dnie zbiornika pozostawia się niewielką ilość przegniłego materiału do zaszczepienia procesu.

Do sprawnego napełniania i opróżniania zbiornika batchowego wymaga się dodatkowo zbiornika magazynowego oraz zbiornika składowego. W procesie okresowym produkcja gazu powoli rozpoczyna się po zapełnieniu fermentatora, a po osiągnięciu maksimum znowu spada, dlatego nie ma tu mowy o utrzymaniu stałej produkcji i jakości biogazu. Okres przetrzymania można ustawiać i bezpiecznie utrzymywać dobierając wielkość zbiornika [3-2]. Przebieg tego procesu jest schematycznie przedstawiony na ilustracji 3-1.

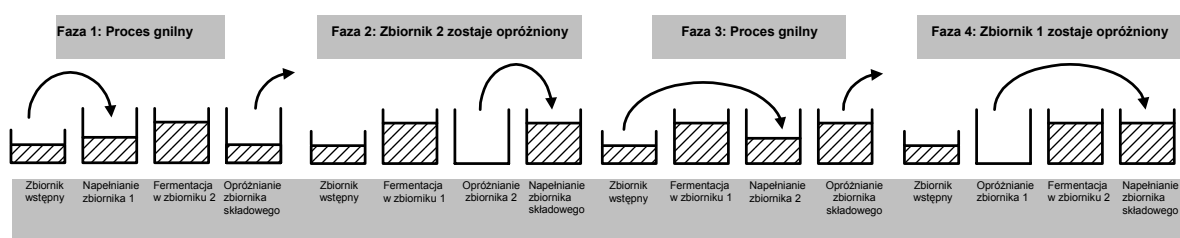


Ilustracja 3-1: Proces okresowy

Metoda zbiorników wymiennych

Metoda zbiorników wymiennych opiera się na pracy z dwoma zbiornikami fermentacyjnymi. Pierwszy zbiornik jest powoli i równomiernie napełniany substratem pobieranym ze zbiornika wstępnego, podczas gdy substrat zalegający w drugim zasypanym do pełna zbiorniku jest poddawany procesowi gnicia. Kiedy napełnianie pierwszego zbiornika zostanie zakończone, to wówczas zawartość tego drugiego zbiornika zostaje za jednym razem i w całości przeniesiona do zbiornika składowego, natomiast sam zbiornik numer dwa znowu jest powoli zapełniany. Proces ten obrazuje ilustracja 3-2.

Zastosowanie układu kilku zbiorników umożliwia równomierną produkcję gazu. Metoda ta pozwala również na utrzymanie zdefiniowanych czasów przetrzymania substratu [3-2].



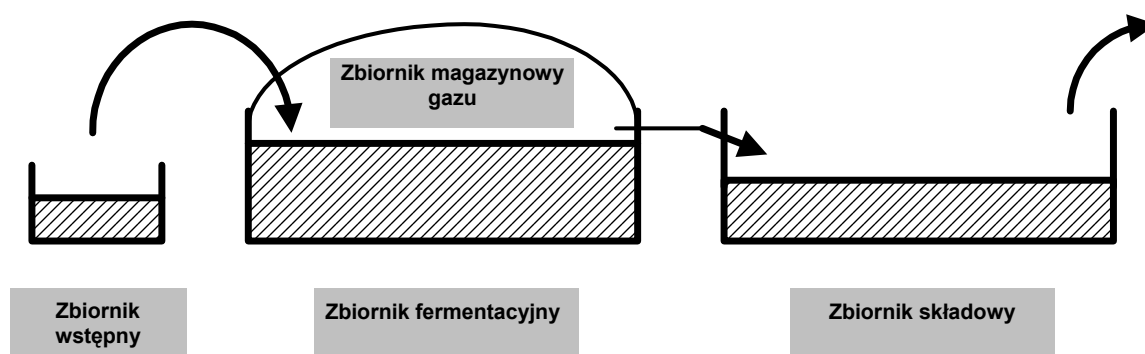
Ilustracja 3-2: Metoda zbiorników wymiennych

3.1.3.2 Napełnianie w trybie quasi-ciągłym i ciągłym

W quasi-ciągłym i ciągłym trybie napełniania można wyróżnić metodę przepływową, metodę magazynowania oraz kombinowaną metodę magazynowo-przepływową. W przeciwieństwie do ciągłego trybu zapełniania w trybie quasi-ciągłym nie przefermentowany ładunek substratu przynajmniej raz w ciągu dnia roboczego wprowadza się do fermentatora. Zaletą okazało się tutaj napełnianie zbiornika niewielkimi porcjami po kilka razy w ciągu dnia.

Metoda przepływowa

Większość biogazowni pracuje na zasadzie przepływu. Z jednego zbiornika magazynowego ew. ze zbiornika wstępnego substrat jest przepompowywany kilka razy dziennie do zbiornika gnilnego. Taka sama ilość świeżego substratu, która trafia do fermentatora, przedostaje się wskutek wyporu albo jest wygarniana do zbiornika odpadów pofermentacyjnych (porównaj ilustracja 3-3).

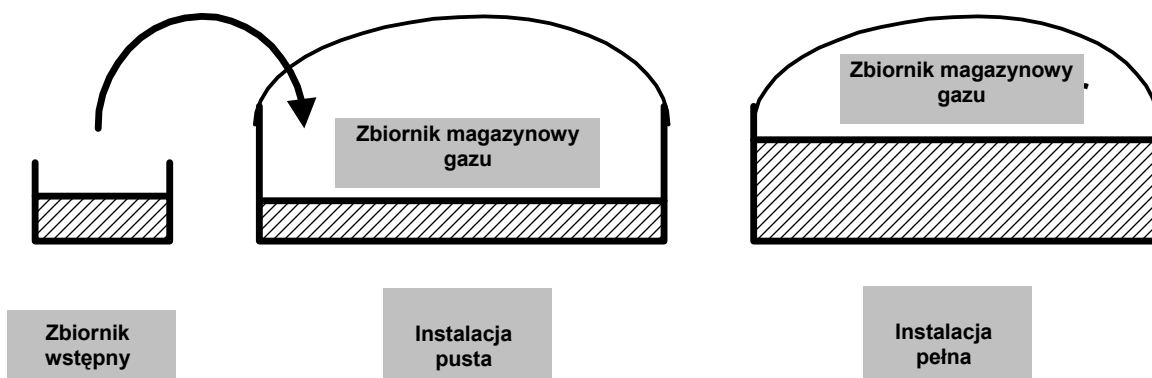


Ilustracja 3-3: Metoda przepływowa

Sam fermenter używany w takim procesie jest przez cały czas wypełniony, i jeśli jest opróżniany, to wyłącznie na czas remontów. Niniejsza metoda wykazuje się równomierną produkcją gazu i dobrym wykorzystaniem wydajności komory gnilnej. Niemniej istnieje tu pewne zagrożenie wywołania przepływu obejściowego przez fermentator, tj. należy liczyć się z takim ryzykiem, że niewielka część świeżo doprowadzonego substratu może od razu „uciec” ze zbiornika [3-2].

Metoda magazynowa

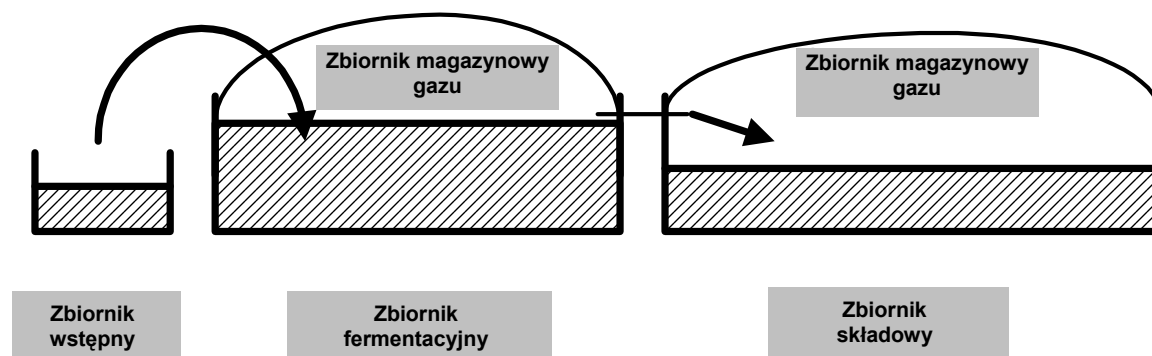
W metodzie magazynowej fermentator i zbiornik odpadów pofermentacyjnych jest połączony w jeden zbiornik. Przy odprowadzaniu przefermentowanego substratu ten połączony zbiornik gnilno-składowy nie jest opróżniany do końca, ponieważ pozostawia się w nim resztkę materiału potrzebną do zaszczeplenia świeżego substratu. Następnie zbiornik ten jest powoli wypełniany stale dodawanym substratem pobieranym ze zbiornika wstępnego. Przebieg tego procesu technologicznego można zobaczyć na ilustracji 3-4. Produkcja gazu w ten sposób jest mniej równomierna niż w metodzie przepływowej, za to łatwiej tu utrzymać dłuższe czasy przetrzymania w zbiorniku [3-2].



Ilustracja 3-4: Metoda magazynowania

Kombinowana metoda przepływowo-magazynowa

W biogazowniach pracujących według kombinowanej metody przepływowo-magazynowej zbiornik osadów pofermentacyjny jest również zakryty. W ten sposób powstający tu biogaz może być wychwytywany i wykorzystywany. A więc zbiornik odpadów pofermentacyjnych funkcjonuje tu jako „instalacja magazynowa”. W tym układzie instalacyjnym część magazynującą poprzedza podłączony do niej fermentator przepływowy. Z tego fermentatora przepływowego również można wybierać substrat wtedy, jeśli np. zaistnieje zapotrzebowanie na duże ilości przefermentowanego substratu do nawożenia. Schematyczny przebieg tej metody pokazuje ilustracja 3-5. Niniejsza metoda pozwala na równomierną produkcję gazu. Natomiast nie da się w niej dokładnie ustalić czasów przetrzymania, ponieważ w fermentatorze przepływowym mogą powstawać przepływy obejściowe [3-2].



Ilustracja 3-5: Kombinowana metoda przepływowo-magazynowa

3.1.4 Zawartość substancji suchej w substratach fermentacyjnych

Konsystencja substratów zależy od ich zawartości substancji suchej. Procesy fermentacji mokrej funkcjonują na substratach pompowalnych. Natomiast w fermentacji suchej stosuje się substraty składowane luzem.

W biogazowniach rolniczych niemal wyłącznie zastosowanie znajduje proces fermentacji mokrej. Natomiast gotowe instalacje fermentacji suchej są w większości instalacjami pilotażowymi bądź doświadczalnymi.

3.1.4.1 Proces fermentacji mokrej

Do fermentowania substratów pompowalnych można stosować metody przepływu tłokowego, metody przepływu pełnego (z idealnym mieszaniem) oraz metody specjalne.

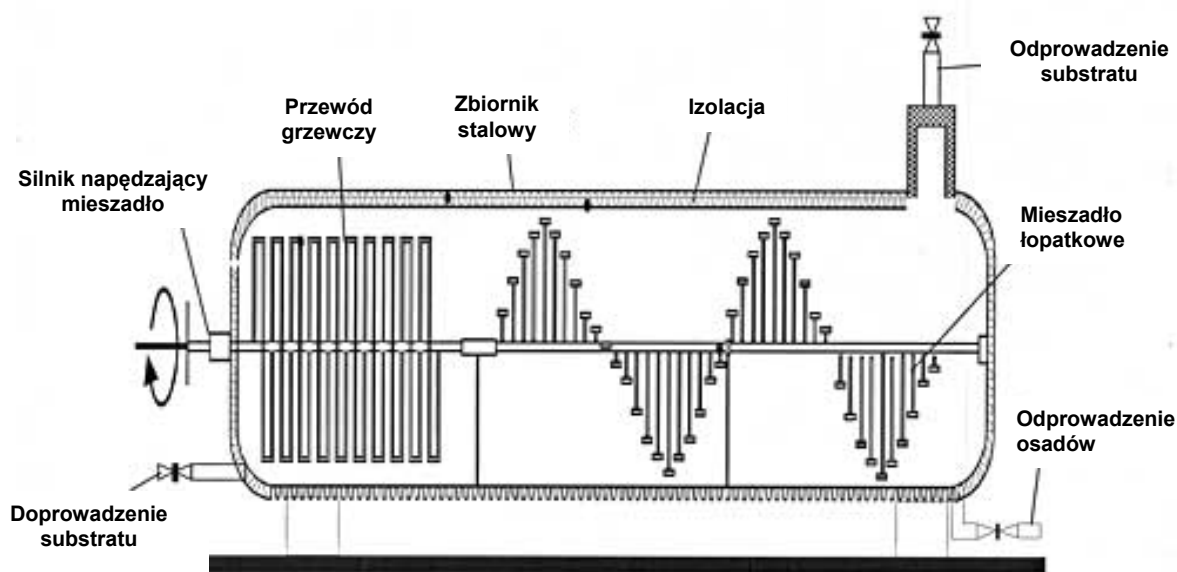
Metoda przepływu tłokowego

Biogazownie z przepływem tłokowym, znane również jako zbiornikowe instalacje przepływowe, wykorzystują efekt wyporu doprowadzanego świeżego substratu, aby wywołać przepływ tłokowy przez zazwyczaj poziomy fermenter mający przekrój okrągły bądź czterościenny. Zjawisko przepływu w poprzek do kierunku strumienia jest najczęściej realizowane za pomocą wałów łopatkowych albo specjalnie skonstruowanego przewodu przepływowego. Charakterystyki takich instalacji zostały przedstawione w tabeli 3-2, natomiast ich strukturę schematyczną pokazuje przykład z ilustracji 3-6.

Tabela 3-2: Właściwości reaktorów biogazowych z przepływem tłokowym według [3-3], [3-1]

Parametry znamionowe	- wielkość budowana dla fermentatorów leżących do 800 m³, w fermentatorach stojących do ok. 2500 m³ - ze stali lub betonu
Kwalifikacja	- odpowiednie do substratów pompowalnych o dużej zawartości substancji suchej; technikę mieszania i przenoszenia trzeba dostosować do substratów - przewidziane do napełniania w trybie quasi-ciągłym ew. ciągłym
Zalety	+ zwarty, ekonomiczny kosztowo rodzaj konstrukcji w małych instalacjach + separacja etapów fermentacji w przepływie tłokowym + uwarunkowane rodzajem konstrukcji zapobieganie tworzenia się kożuchów i złogów dennych + utrzymanie czasów przetrzymania dzięki daleko idącemu zapobieganiu zjawiskom przepływu obejściowego + niedługie czasy przetrzymania + instalacja efektywnie ogrzewalna, niewielkie straty ciepła dzięki zwartej konstrukcji
Wady	- instalacja ekonomicznie produkowana tylko w niewielkich ilościach - prace konserwacyjne przy mieszadle wymagają całkowitego opróżnienia komory fermentacyjnej
Formy konstrukcji	- może być produkowany w wersji leżącej i stojącej, najczęściej stosowana jest wersja leżąca - w konstrukcjach stojących przepływ tłokowy uzyskuje się najczęściej w zabudowach pionowych, rzadziej w poziomych - możliwość eksploatacji z i bez urządzeń przepływowych

Leżący fermenter zbiornikowy



Ilustracja 3-6: Reaktor z przepływem tłokowym według [3-4]

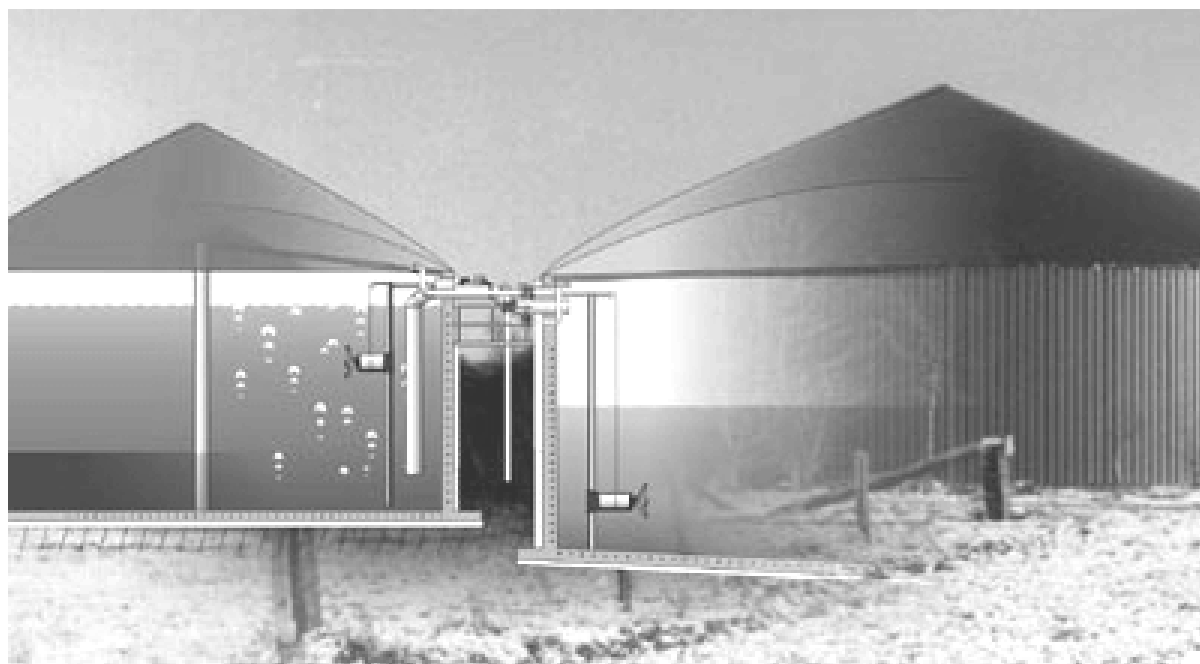
Procesy technologiczne z idealnym mieszaniem

Reaktory z idealnym mieszaniem budowane w formie cylindrycznej stojącej stosuje się do wytwarzania biogazu przede wszystkim w gospodarce rolnej. W zasadzie pod względem konstrukcyjnym odpowiadają one standardowym zbiornikom na gnojowicę, które jak najbardziej można przystosować do produkcji biogazu dokonując odpowiednich przeróbek. Fermentatory takie składają się ze zbiornika z betonowym dnem i stalowymi lub żelazobetonowymi ściankami. Zbiornik taki może całkowicie lub częściowo wpuszczony w podłoże albo zostać zbudowany całkowicie nad powierzchnią gruntu. Na zbiorniku takim nadbudowuje się gazoszczelne przykrycie, które może być wykonane w różny sposób, zależnie od lokalnych wymogów i typu konstrukcji. Idealny przepływ substratu zapewnia mieszadło ew. sam reaktor biogazowy. Specyficzne właściwości takiej instalacji przedstawia tabela 3-3, a rysunek przekrojowy pokazuje ilustracja 3-7.

Tabela 3-3: Właściwości reaktorów biogazowych z idealnym mieszaniem według [3-3], [3-1]

Parametry znamionowe	- wielkość budowana możliwa do ponad 6000 m³, jednak im większa instalacja, tym trudniej zapewnić właściwy przepływ i kontrolę procesu technologicznego - ze stali lub betonu
Kwalifikacja	- odpowiednie dla substratów pompowalnych z niewielką i średnią zawartością substancji suchej; technikę mieszania i przenoszenia trzeba dostosować do substratów - odpowiednie do napełniania quasi-ciągłego, ciągłego i nieciągłego

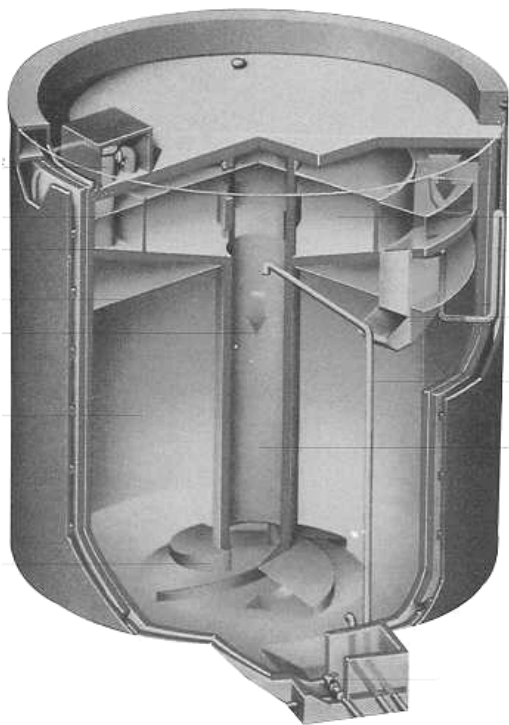
Zalety	+ ekonomiczny kosztowo rodzaj konstrukcji przy objętości reaktorów ponad 300 m³ + zmienny tryb eksploatacji: jako metoda przepływowa, przepływowo-magazynowa lub magazynowa + w zależności od rodzaju konstrukcji agregaty techniczne można poddawać pracom konserwacyjnym przeważnie bez konieczności opróżniania fermentatora
Wady	- pokrywa fermentatora przy dużych instalacjach jest kosztochłonna - możliwe przepływy obejściowe, dlatego dane nt. czasów przetrzymania nie są pewne - możliwe powstawanie kożuchów i złogów dennych
Formy konstrukcji	• stojące zbiorniki cylindryczne z zamknięciem ponad lub na poziomie gruntu • można je eksploatować z i bez przepływu urządzeń mieszających • urządzenia przepływowe muszą być bardzo wydajne; przy fermentowaniu samej gnojowicy można również stosować technikę cyrkulacji pneumatycznej poprzez wtlaczanie biogazu • możliwości cyrkulacji: mieszadła w swobodnej komorze reaktora, mieszadło osiowe w centralnej pionowej rurze prowadzącej, cyrkulacja hydrauliczna za pomocą pomp zewnętrznych, hydrauliczna cyrkulacja poprzez wtlaczanie biogazu do pionowej rury prowadzącej, cyrkulacja hydrauliczna poprzez powierzchniowe wtlaczanie biogazu z systemu dysz na dnie reaktora



Ilustracja 3-7: Fermentator z idealnym mieszaniem, rysunek przekrojowy: biogaz Nord GmbH

Metody specjalne

W odróżnieniu od wyżej opisanych i bardzo szeroko rozpowszechnionych metod fermentacji mokrej istnieją jeszcze inne sposoby, których nie można jednoznacznie przyporządkować do powyższych kategorii. Najczęściej mają one lokalne ew. bardzo znikome znaczenie na rynku.



Ilustracja 3-8: Fermentator dwukomorowy;
Ilustracja: ENTEC
Environment Technology
Umwelttechnik GmbH

Relatywnie szeroko rozpowszechnione są w Niemczech metody fermentacyjne realizujące przepływ substratu w *procesie dwukomorowym*. W tym procesie hydrauliczna cyrkulacja substratu jest osiągana poprzez automatyczne podawanie ciśnienia, wynikające z produkcji gazu i redukowania ciśnienia przy osiągnięciu ustalonego nadciśnienia. W ten sposób można zrezygnować z zastosowania energii elektrycznej do cyrkulacji, ale nakłady budowlane na fermentator są w tym wypadku wyższe. W zakresie rolnictwa zbudowano 50 bazujących na tej technologii biogazowni z fermentatorami o pojemnościach od 400 do 2500 m³ z zasadniczym przeznaczeniem do fermentowania czystej gnojowicy lub osadów ściekowych. Konstrukcja fermentatora dwukomorowego jest zobrazowana na ilustracji 3-8.

3.1.4.2 Proces fermentacji suchej

Dla przedsiębiorstw rolnych, które nie mają do dyspozycji gnojowicy służącej jako substrat podstawowy, pozyskiwanie biogazu w drodze fermentacji mokrej wiąże się z wysokimi nakładami technologicznymi. Aby przygotować substraty do procesu fermentacji mokrej, trzeba je upłynnić ew. sporządzić zacier przy wysokim zużyciu energii i wody. Alternatywą okazuje się tutaj będąca jeszcze w stadium eksperymentalnym bądź prototypowym technologia pozyskiwania biogazu w drodze fermentacji suchej poprzez fermentację suchą. Jednakże metody obecnie dostępne na rynku jeszcze nie zakończyły stadium rozwojowego, toteż prezentacja metody fermentacji suchej zajmie tu dość niedużo miejsca [3-5], [3-6]. Cechy specyficzne fermentacji suchej zostały ujęte w tabeli 3-4. Dla przedsiębiorstw rolnych pracujących bez zwierząt hodowlanych fermentacja sucha mogłaby stanowić alternatywę w stosunku do fermentacji mokrej, o ile odpowiednie procesy technologiczne będą dalej rozwijane a istniejące problemy zostaną przezwyciężone.

Tabela 3-4: Właściwości procesu fermentacji suchej według [3-5]

Parametry znamionowe	• nieograniczona wielkość budowana dzięki modularnemu rodzajowi konstrukcji • konstrukcja ze stali lub betonu
Kwalifikacja	• odpowiednia dla substratów składowanych luzem • odpowiedni do napełniania quasi-ciągłego, ciągłego i nieciągłego
Zalety	+ konstrukcja modułarna umożliwia elastyczne dopasowywanie instalacji do istniejącego zapotrzebowania + zmniejszone zapotrzebowanie na energię do procesu z braku konieczności stosowania techniki przenośnikowej + zmniejszenie nakładów remontowych i zużycia mechanicznego wskutek ww. + powstawanie biogazu o znikomym stężeniu siarkowodoru a przez to brak konieczności stosowania instalacji do oczyszczania gazu + zastosowanie poza obrębem zakładu macierzystego dzięki mobilnej technice fermentatora + oszczędności dzięki energii do ogrzewania substratu fermentacyjnego czerpanej z wykorzystania biologicznego zjawiska uwalniania ciepła przy krótkotrwałym rozkładzie tlenowym materiału wsadowego
Wady	- ciągła produkcja gazu wymaga przesuniętej w fazie eksploatacji wielu modułów na raz - brak procesu mieszania może powodować powstawania stref osłabionego wydzielania gazu - dla osiągnięcia wysokiego uzysku gazu konieczne jest stosowanie sporych ilości materiału zaszczipiającego fermentację - konieczność zainstalowania techniki zabezpieczeń przed ryzykiem wybuchu podczas napełniania i opróżniania
Formy konstrukcji	• stojące zbiorniki cylindryczne z zamknięciem ponad lub na poziomie gruntu • można eksploatować z i bez przepływu idealnego • urządzenia przepływowe muszą być bardzo wydajne; przy fermentowaniu samej gnojowicy można również stosować technikę cyrkulacji pneumatycznej poprzez wtłaczanie biogazu

Metoda kontenerowa

W metodzie kontenerowej biomase wprowadza się do fermentatorów mobilnych bądź wsuwanych, które potem są hermetycznie zamykane. Mikroorganizmy zawarte w substracie zaszczipiającym dodawanym do substratu świeżego ogrzewają masę substratu w fazie pierwszej, kiedy to do fermentatora zostaje doprowadzone powietrze.

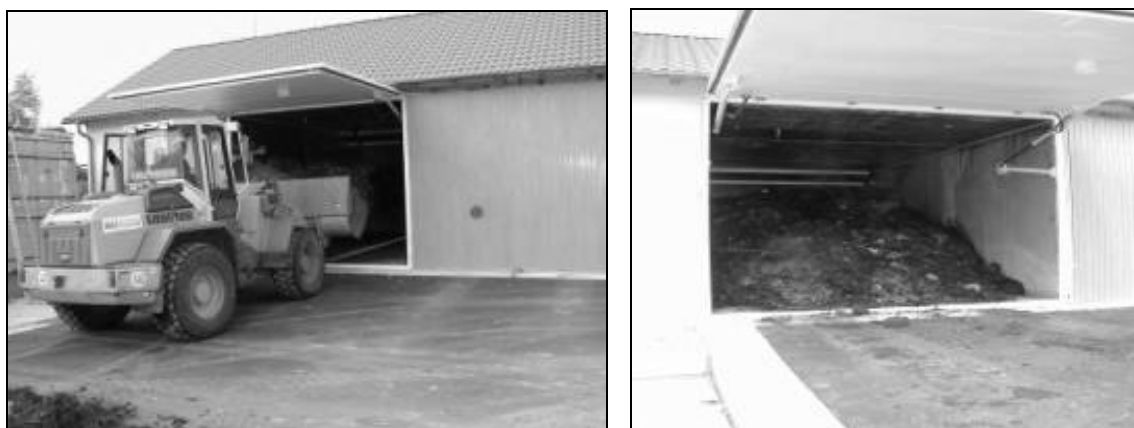
Wtedy zachodzi proces kompostowania z towarzyszącym mu uwalnianiem energii cieplnej. Po osiągnięciu temperatury roboczej dopływ powietrza zostaje odcięty, zaś po zużyciu doprowadzonego tlenu uaktywniają się mikroorganizmy, które - tak jak w procesie fermentacji mokrej - przekształcają biomasę na biogaz. Biogaz zostaje wychwycony przez przewody zbiorcze przyłączone do fermentera i odprowadzony do użytku na potrzeby energetyczne [3-1]. Przykład kontenerowej metody fermentacji suchej prezentuje ilustracja 3-9.



Ilustracja 3-9: Fermentator wsuwany umieszczony w hakowym kontenerze załadowniczym, stadium prototypowe; zdjęcie: Bioferm GmbH

Fermentator boksowy

Swoją formą geometryczną fermentatory boksowe przypominają fermentatory kontenerowe, tyle że są zbudowane w sposób garażowy z prefabrykatów betonowych [3-3] [3-4] [3-6]. Przebieg zachodzącego w nich procesu technologicznego jest taki, jak proces w fermentatorach kontenerowych. Przykład jest pokazany na ilustracji 3-10:



Ilustracja 3-10: Fermentator boksowy podczas napełniania, stadium prototypowe; zdjęcie: Bioferm GmbH

Fermentator rękawowy

Dla fermentatora w rękawie foliowym wykorzystuje się metody znane z techniki produkcji kiszonek w rękawach foliowych. Tutaj również do pierwszego ogrzania substratu

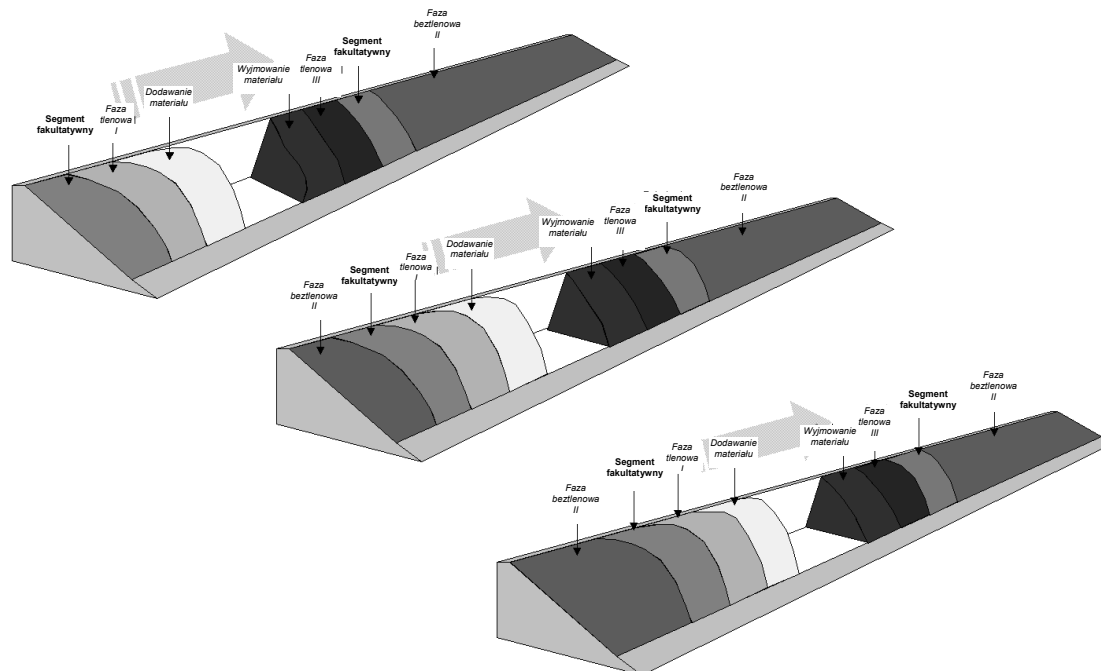


Ilustracja 3-11: Napełnianie rękawa foliowego; zdjęcie: B. Linke, Institut für Agrartechnik Bornim

wykorzystuje się tlenowy proces kompostowania. Natomiast do dalszego ciągłego dostarczania ciepła wykorzystuje się rękawy układane na płycie betonowej z wbudowaną instalacją ogrzewania podłogowego. W celu zredukowania strat ciepła rękaw foliowy można przy napełnianiu okryć izolacją termiczną [3-5]. Biogaz tworzący się po zużyciu tlenu jest wychwytywany przez przewody zbiorcze wbudowane w rękaw i odprowadzany do wykorzystania. Przykład zastosowania przedstawia ilustracja 3-11.

Fermentator wannowy ew. tunelowy

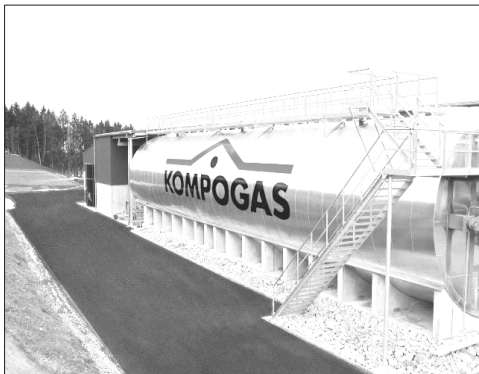
Trwa rozwój systemów fermentacyjnych porównywalnych z fermentatorami rękawowymi, które umożliwiają przeprowadzenie quasi-ciągłego procesu w specjalnych wannach ew. w tunelach. Tutaj przebieg procesu technologicznego jest prawie identyczny z procesem zachodzącym w rękawie foliowym, z tym że daje się on lepiej kontrolować. Przykład takiej metody przedstawia ilustracja 3-12.



Ilustracja 3-12: Schemat kombinowanej fermentacji suchej w oparciu o metodę „3 razy A” (aerobowa-anaerobowa-aerobowa); ilustracja: S.I.G. Dr.-Ing. Steffen GmbH

Fermentator z przepływem tłokowym

W zakresie gospodarki odpadami już od pewnego czasu do fermentacji suchej z powodzeniem stosuje się fermentatory z przepływem tłokowym. Są one konstruowane



Ilustracja 3-13: Fermentator z przepływem tłokowym; zdjęcie: Kompogas AG

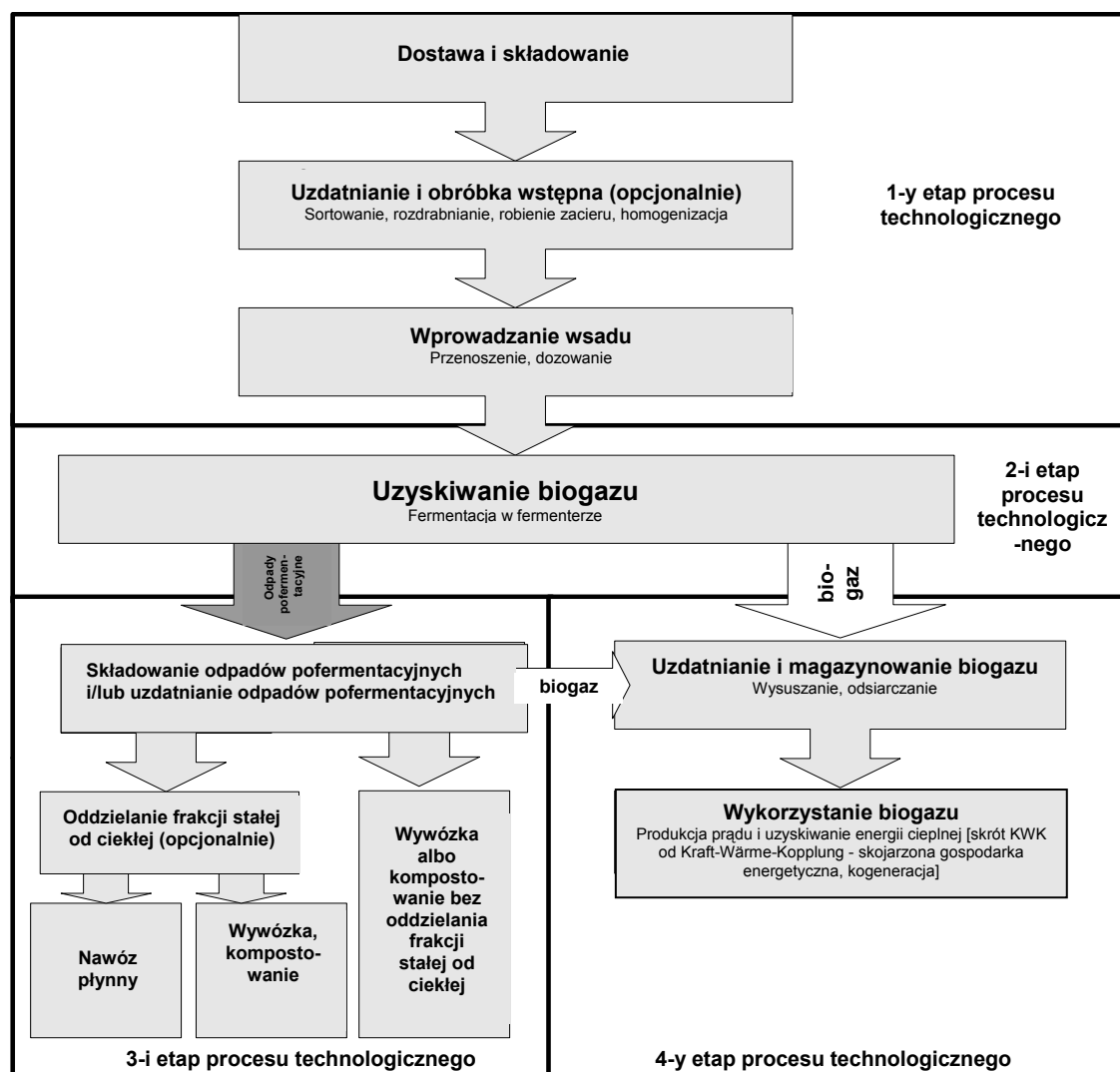
jako fermentatory leżące bądź stojące, a ich napełnianie odbywa się w trybie ciągłym i quasi-ciągłym. Częściowo wintegrowane wały mieszalnikowe służą tam do łatwiejszego odgazowywania materiału wsadowego. W wytwarzaniu biogazu w sektorze rolniczym metody te nie odgrywają obecnie żadnej roli z powodu wysokich nakładów technicznych na budowę instalacji ciągłej. Ilustracja 3-13 pokazuje przykład zastosowania takiej technologii. Rysunek przekrojowy pokazujący fermentator z przepływem tłokowym przedstawia ilustracja 3-6.

3.2 Technika procesowa

Zasadniczo w biogazowni pracującej w sektorze rolniczym można wydzielić cztery różne etapy procesu technologicznego, niezależnie od rodzaju eksploatacji:

1. Dostawa, składowanie, uzdatnianie, transport i wprowadzanie substratów
2. Uzyskiwanie biogazu
3. Składowanie i ew. uzdatnianie odpadów pofermentacyjnych oraz ich wywózka
4. Magazynowanie, uzdatnianie i wykorzystanie biogazu

Pojedyncze etapy procesu technologicznego są szczegółowo przedstawione na ilustracji 3-14.



Ilustracja 3-14: Ogólny przebieg procesu technologicznego w uzyskiwaniu biogazu według [3-3]

Te cztery etapy procesu technologicznego są od siebie uzależnione. Szczególnie ściśle powiązanie istnieje między etapem 2 a 4, jako że etap 4 normalnie dostarcza ciepła technologicznego niezbędnego w etapie 2.

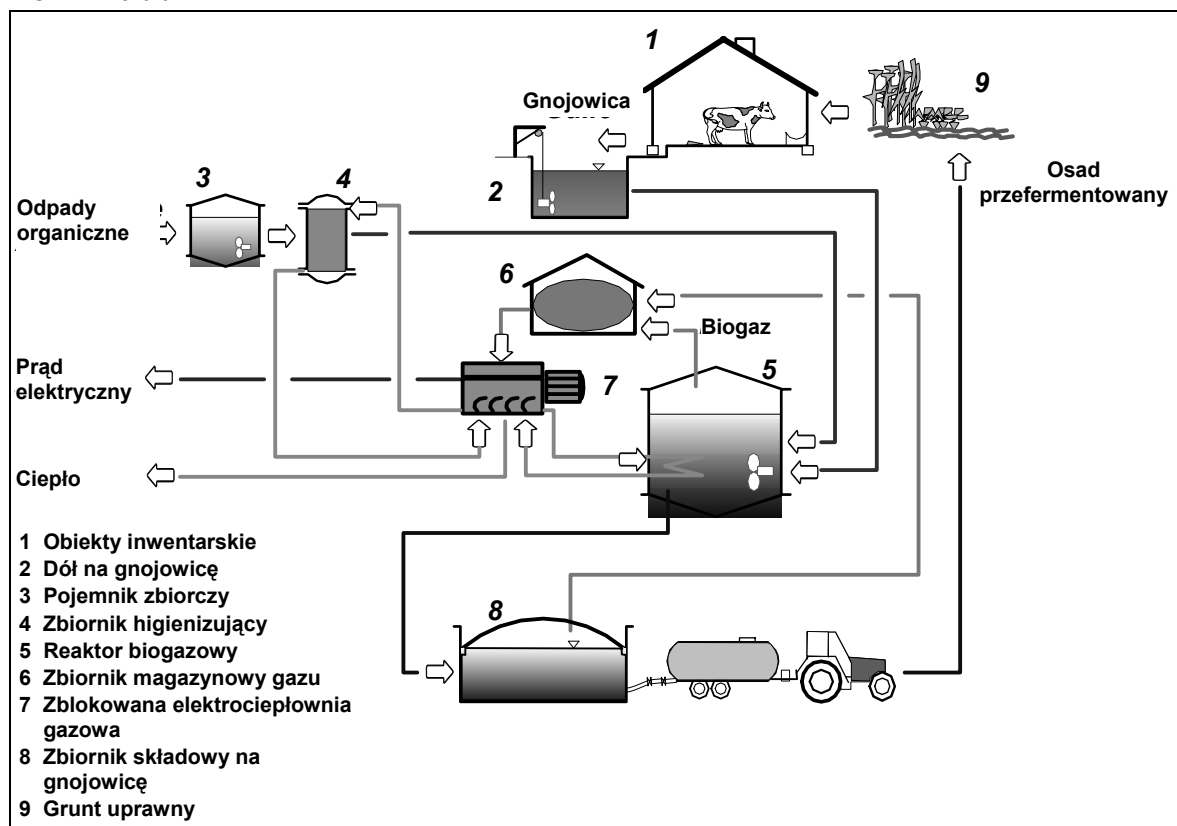
Należącą do etapu 4 fazę uzdatniania i wykorzystywania biogazu oddzielnie przedstawiono w rozdziale 5, zaś fazę uzdatniania i obróbki odpadów pofermentacyjnych. Natomiast poczynając od tego miejsca przedstawiono technologię i zastosowanie techniki w etapach 1, 2 i 3.

Wybór wyposażenia procesowo-technicznego dla danej instalacji zależy w pierwszej linii od dostępnych substratów. Ilość substratów określa rozmiar wszystkich agregatów i objętości zbiorników. Jakość substratów (zawartość substancji suchej, struktura, pochodzenie, itd.) określa rozplanowanie techniki procesowej. W zależności od składu substratów może powstać konieczność odseparowywania ciał obcych lub tworzenia zacieru z substratów poprzez dodawanie wody, aby doprowadzić je do stanu umożliwiającego ich przepompowanie.

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

Przy fermentacji mokrej najczęstsze zastosowanie znajdują instalacje jednoetapowe, które pracują według metody przepływowej. W procesach dwuetapowych do fermentatora właściwego jest podłączony fermentator wstępny, który otwiera proces. W tymże fermentatorze wstępnym zostają optymalnie ustawione warunki dla pierwszych dwóch etapów procesu rozkładu (hydrolizy i tworzenia kwasów). Z fermentatora wstępnego substrat przedostaje się do fermentatora głównego, w którym zachodzą niżej opisane etapy procesu technologicznego. Osady pofermentacyjne są składowane w zamkniętych fermentatorach do dofermentowania z wykorzystaniem biogazu lub w otwartych zbiornikach na osady pofermentacyjne i z reguły jako nawóz płynny zostają wywiezione na grunty rolne.

Powstający w czasie fermentacji biogaz zostaje zmagazynowany i uzdatniony. Najczęściej jest wykorzystywany w gazowym bloku energetycznym (GBE - skr. niem. BHKW) do jednoczesnego wytwarzania prądu elektrycznego i ciepła. Ilustracja 3-15 przedstawia najważniejsze komponenty instalacji, podzespoły konstrukcyjne oraz agregaty w jednoetapowej biogazowni rolniczej przy zastosowaniu kosubstratów higienizujących.



Ilustracja 3-15: Schemat biogazowni rolniczej stosującej kosubstraty; schemat: B. Linke, Institut für Agrartechnik Bornim

Etapy procesu technologicznego przedstawiają się tutaj następująco: Pierwszy etap procesu technologicznego (magazynowanie, uzdatnianie, transport i wprowadzenie substratów) obejmuje zbiornik na gnojowicę ew. zbiornik wstępny (2), pojemnik zbiorczy (3) i zbiornik higienizujący (4). Drugi etap procesu technologicznego (uzyskiwanie biogazu) jest przeprowadzany w reaktorze biogazowym (5), określanym również jako fermentator. Trzeci etap procesu technologicznego jest zobrazowany przez zbiornik składowy na gnojowicę (8) ew. zbiornik odpadów pofermentacyjnych oraz wywózkę przefermentowane substratu na grunty uprawne (9). Czwarty etap procesu technologicznego (magazynowanie, uzdatnianie i wykorzystanie biogazu) jest przeprowadzany w zbiorniku magazynowym gazu (6) i zblokowanej elektrociepłowni gazowej (7). Poszczególne etapy procesu technologicznego zostaną dokładnie omówione w dalszej części tekstu.

3.2.1 Obróbka substratów (tzw. substrate handling)

Wszystkie niezbędne procedury towarzyszące substratom w drodze do fermentera biogazowego są zbiorczo opisywane przez pewien termin nadrzędny, którym jest obróbka substratów (określana też z angielska jako substrate handling). W ujęciu szczegółowym ów substrate handling obejmuje dostawę, magazynowanie, uzdatnianie i wprowadzanie substratów do procesu.

3.2.1.1 Dostawa

Dostawa odgrywa ważną rolę wyłącznie przy wykorzystywaniu kosubstratów pochodzących spoza własnego przedsiębiorstwa. Przy dostawie nieodzowna staje się kontrola na wejściu dostarczanego substratu do celów rozliczeniowych i dokumentacyjnych, którą zazwyczaj przeprowadza się w sposób wizualny. Jednocześnie ewidencjonuje się masę dostawy oraz protokuluje wszystkie dane „z wejścia”. Szczególną uwagę należy zwracać na substraty, które są klasyfikowane jako odpady. Tutaj, w zależności od sklasyfikowania odpadu, może zaistnieć obowiązek dokumentowania lub też prowadzenia takiej dokumentacji mogą zażądać właściwe władze.

3.2.1.2 Magazynowanie

Magazyny substratów w pierwszej linii służą do wyrównywania ewentualnych dysproporcji przy dostawie i przygotowywaniu różnych substratów i kosubstratów. Ukształtowanie takich składowisk jest uzależnione od stosowanych substratów. Wielkość powierzchni wymaganej pod takie składowiska magazynowe wiąże się ze spodziewanymi ilościami materiału i kompensowanymi okresami dostaw. Takie warunki umowne jak i ilość przyjmowanego materiału i częstotliwość dostaw odgrywają istotną rolę wtedy, jeżeli stosuje się kosubstraty spoza własnego przedsiębiorstwa. Jeżeli stosuje się kosubstraty higienicznie wątpliwe, np. pochodzenia przemysłowego, to wtedy trzeba przestrzegać ścisłej strefy sektora przyjęć materiału od strefy przedsiębiorstwa rolnego.

Nie wolno dopuszczać możliwości mieszania się substratu obojętnego z substratem higienicznie wątpliwym przed przepuszczeniem przez urządzenie higienizujące.

Dla zminimalizowania emisji zapachów, jak i ze względów praktycznych odbiór, składowanie i uzdatnianie substratów trzeba przeprowadzać w halach, z odwieciem wyposażonym w biofiltry oczyszczające powietrze. W ten sposób zapewnia się należyłą ochronę przed warunkami pogodowymi dla urządzeń technicznych jak i dla czynności w zakresie obsługi i kontroli [3-1]. Tabela 3-5 pokazuje przegląd charakterystyk magazynowania substratów.

Tabela 3-5: Magazynowanie substratów przed przefermentowaniem

Wymiarowanie	• zależne od: ilości przypadającego substratu, wydajności fermentatora, kompensowanych okresów dostaw, wyposażenia powierzchni i produktywności przy kosubstratach, umów dostawy w przypadku substratów spoza własnego przedsiębiorstwa • musi istnieć możliwość panowania nad zakłóceniami w eksploatacji
Cechy szczególne	• przy wsadzie surowcowym z poplonów uprawianych na nieużytkach trzeba przeprowadzać proces denaturacji • przy magazynowaniu trzeba unikać zamarzania urządzeń technicznych, na przykład przez ustawianie zbiorników magazynowych w halach albo poprzez korzystanie z dołów znajdujących się poniżej poziomu gruntu • należy unikać takich procesów rozkładu, które zmniejszają uzysk gazu • trzeba bezwzględnie unikać mieszania się substratów higienicznie podejrzanych z substratami higienicznie obojętnymi • emisję zapachów trzeba minimalizować stosując odpowiednie zarządzenia budowlane
Formy konstrukcji	• magazyny typowe w gospodarce rolnej, tj. silosy przejazdowe lub doły; dla substratów płynnych zbiorniki zamknięte • zbiorniki wstępne mogą być wykorzystywane jako magazyny szybkie, tj. do około trzech dni
Koszty	• z reguły jakieś magazyny już istnieją, natomiast dla nowo budowanych obiektów trzeba skalkulować cenę w zależności od liczby wyżej wymienionych czynników wpływających na dany przypadek

3.2.1.3 Uzdatnianie

Rodzaj i zakres uzdatniania substratu oddziałuje na proces fermentacji a tym samym na wykorzystanie potencjału energetycznego zastosowanych substratów. Celem uzdatniania musi z jednej strony odpowiadać wymogom prawnym - takim jak higienizacja - a z drugiej strony musi w jak największym stopniu sprostać wymaganiom mikroorganizmów jako wytwornica metanu, czyli oczekiwanego produktu.

W uzdatnianiu substratu tkwi jeden z obu wielkich potencjałów optymalizowania całej instalacji, przy czym pole manewru między przeciążeniem a zbyt słabym wykorzystaniem biogazowni jest bardzo wąskie.

Dezintegracja jako sposób na roztwarzanie materiału organicznego przy uzdatnianiu ma już zastosowanie w produkcji gazu ściekowego, natomiast w odniesieniu do fermentowania biomasy sposób ten znajduje się jeszcze na etapie badań. Zapewnia on lepszy dostęp mikroorganizmów do substratu, przez co ma prowadzić do zwiększania rozkładu materiału. Jednak metoda dezintegracji nie będzie tu szerzej omawiana, ponieważ nadal znajduje się na etapie doświadczalnym.

Sortowanie i separacja ciał obcych

Konieczność sortowania i separacji ciał obcych zależy od pochodzenia i składu substratu. Kamienie będące tu najczęściej spotykanymi ciałami obcymi są w większości oddzielane w zbiorniku wstępnym, którego dno trzeba potem od czasu do czasu oczyszczać z tychże kamieni. Inne ciała obce zostają wysortowane ręcznie przy dostawie substratu lub przy napełnianiu urządzeń zasypowych. Największym stopniem zanieczyszczenia ciałami obcymi odznaczają się odpady biologiczne. Jeśli mają być one zastosowane jako kosubstrat w biogazowniach rolniczych, to dzisiejszy stan techniki ma do zaoferowania ręczną separację ciał obcych w zamykanej kabine wyposażonej w bliską stanowisku pracy wentylację odwietrzającą przy taśmociągu.

Higienizacja

W celu spełnienia określonych przepisami ustawowymi kryteriów dla niektórych grup materiałów będących krytycznymi z punktu widzenia higieny epidemiologicznej i fitohigieny, w niektórych okolicznościach powstaje konieczność wbudowania stacji termicznej do obróbki wstępnej w biogazowni. Obróbka wstępna odbywa się poprzez ogrzewanie materiałów do temperatury rzędu 70°C przez przynajmniej godzinny okres przetrzymania [3-7]. Jako że rozmiary zbiorników stosowanych do higienizacji oraz nakład energetyczny są uzależnione od ilości przepuszczanego materiału, proces higienizacji jest z reguły przeprowadzany jeszcze wprowadzeniem higienicznie wątpliwych kosubstratów do fermentatora. W ten sposób możliwe jest higienizowanie samych materiałów wątpliwych a tym samym i bardziej ekonomiczne obliczenie fazy higienicznej. Poza tym materiały są w ten sposób roztwarzane termicznie a przez to łatwiej ulegają procesowi fermentacji.

Higienizację można przeprowadzać w hermetycznie zamykanych i ogrzewanych zbiornikach ze stali szlachetnej. Do tego celu częstokroć wykorzystuje się zbiorniki stosowane w technice karmienia. Proces higienizacji jest nadzorowany i dokumentowany za pomocą urządzeń mierzących stan zapełnienia, temperaturę i ciśnienie. Temperatura substratu po higienizacji jest wyższa od temperatury procesowej panującej we wnętrzu fermentatora. Jeśli zhigienizowany substrat ma być podany bezpośrednio do fermentatora, to wtedy konieczne jest schłodzenie do temperatury mieszczącej się w zakresie temperatury roboczej fermentatora.

Przykłady zbiorników do higienizacji przedstawia ilustracja 3-16, zaś specyficzne własności zbiorników do higienizacji zawiera tabela 3-6.

Tabela 3-6: Parametry znamionowe i eksploatacyjne zbiorników higienizujących

Parametry znamionowe	• pojemność: zbiorniki do higienizacji o pojemności do 50 m³ stosuje się w biogazowniach • ogrzewanie: wewnętrzne lub zbiornik o podwójnych ściankach • czas pracy: na jedną godzinę czasu higienizacji należy uwzględnić zwymiarowania takie parametry jak zapewnianie, rozgrzewanie i opróżnianie
Kwalifikacja	• substrat przeznaczony do typowych zbiorników higienizujących musi znajdować się w stanie pompowalnym i stąd też wymaga odpowiedniej obróbki wstępnej przed higienizacją
Cechy szczególne	• instalacja urządzenia rejestrującego przebieg higienizacji jest bezwzględnie konieczna • po higienizacji gorący substrat nie powinien być bezpośrednio podawany do fermentatora, ponieważ jego układ biologiczny nie wytrzyma wysokich temperatur • nie wolno stwarzać możliwości mieszania się materiałów higienicznie podejrzanych z materiałami higienicznie obojętnymi • w zależności od substratu trzeba liczyć się z możliwością powstawania złogów piasku i substancji ciężkich
Formy konstrukcji	• jednościenne zbiorniki ze stali szlachetnej z ogrzewaniem wewnętrznym albo dwuściankowe zbiorniki ze stali szlachetnej z ogrzewaniem ściennym lub z przeciwprądowymi wymiennikami ciepła
Konserwacja	• w zbiorniku trzeba zaprojektować przynajmniej jeden wąż • obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermenterze • konserwacja jest konieczna w zależności od zainstalowanej techniki (czujniki temperatury, mieszadła, pompy), sam zbiornik powinien być się bez prac konserwacyjnych



Ilustracja 3-16: Higienizacja z układem chłodzenia nagrzanego chłodziwa; zdjęcie: TEWE Electronic GmbH & Co. KG

Rozdrabnianie

Rozdrabnianie substratu otwiera powierzchnię substratu na proces degradacji biologicznej, a tym samym na produkcję metanu. Zasadniczo można przyjąć taki punkt wyjścia, że wraz ze zwiększaniem stopnia rozdrobnienia wzrasta szybkość rozkładu biologicznego, co jednak wcale nie musi oznaczać automatycznego wzrostu uzyskiwania gazu. Produkcja metanu wynika między innymi ze współgrania takich parametrów jak czas przetrzymania i stopień rozdrobnienia. Stąd też trzeba kłaść duży nacisk na właściwe użycie techniki. Funkcję rozdrabniania substratów można zainstalować przed funkcją wprowadzania ew. przenoszenia. Jednakże odnotowuje się nader częste bezpośrednie sprzęganie funkcji rozdrabniających i przenoszących albo nawet ich połączenie w jednym i tym samym agregacie. Napęd agregatów jest najczęściej zapewniany przez silnik elektryczny, istnieje też częściowa możliwość podłączenia ich do wału napędowego traktora.



Ilustracja 3-17: Wstępny zbiornik magazynowy z agregatem rozdrabniającym; zdjęcia: Konrad Pumpe GmbH

W celu bezpośredniego doprowadzania substancji stałych technikę rozdrabniającą instaluje się najczęściej w zasobniku wstępnym. Przykład takiego rozwiązania pokazuje ilustracja 3-17. Własności agregatów rozdrabniających przy bezpośrednim dawkowaniu substancji stałych zostały zebrane w tabeli 3-7.

Tabela 3-7: Parametry znamionowe i eksploatacyjne agregatów rozdrabniających przy bezpośrednim dawkowaniu substancji stałych

Parametry znamionowe	• typowe dostępne na rynku agregaty pojedyncze mogą rozdrabniać do 50 t materiału dziennie
Kwalifikacja	• typowe kiszonki, CCM, obornik inwentarski (także po drobiu), stare pieczywo, warzywa • do rozdrabniania substancji długowłóknistych prędkiej nadają się walce zębate
Zalety	+ duże ilości przepuszczanego materiału + nieskomplikowane napełnianie ładowarką kołową lub chwytakiem + duży wolumen zapasu substancji do zautomatyzowanego sterowania procesem rozdrabniania i załadowania materiału + zastosowanie wytrzymałej techniki
Wady	- możliwość tworzenia pomostów z materiału nad narzędziem rozdrabniającym, która jednak jest mocno uzależniona od geometrii zasobnika wstępnego - całkowicie ręczne usuwanie zalegającego materiału w razie awarii
Cechy szczególne	• wały łopatkowe zmniejszają ryzyko tworzenia mostów z materiału ponad narzędziem rozdrabniającym
Formy konstrukcji	• wózek paszowy z zainstalowanymi nożami tnącymi jako dozownik substancji stałych • zasobnik ze ślimakami tnącymi do rozdrabniania i przenoszenia materiału • zasobnik z szarpiącym wałem łopatkowym rozdrabniania i przenoszenia materiału • zasobnik z dozowaniem składowanego luźnego substratu przez frezarkę ciężką
Konserwacja	• według danych producenta urządzenia te rzadko wymagają konserwacji, zaleca się zawieranie umów o roboty konserwacyjne • powinna istnieć możliwość przeprowadzania prac konserwacyjnych podczas przerw w ładowaniu materiału

Niektóre substraty pompowalne wymagają rozdrobnienia przed przejściem przez urządzenie ładujące, aby nie zagrażało jego funkcjonowaniu. Rozdrabnianie substratów następuje albo przed podaniem ich do zbiornika wstępnego, w zbiorniku wstępnym, w przewodzie tłocznym przed pompą tłoczącą albo bezpośrednio w urządzeniu przenośnikowym. Możliwości rozdrabniania materiału zostały przedstawione i objaśnione na ilustracjach 3-20 i 3-21 jak również w tabelach 3-8 do 3-11.

Tabela 3-8: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne agregatów rozdrabniających przed podaniem substratu do zbiornika wstępnego

Parametry znamionowe	wydajność: np. 1 m³ na godzinę i kilowat w młynie
Kwalifikacja	- kartofle z kamieniami, buraki, odpady zielone (młyn) - typowe kiszonki, CCM, obornik inwentarski (także drobiowy), stare pieczywo, warzywa; do rozdrabniania substancji długowłóknistych prędzej nadają walce zębate (wózki paszowe)
Zalety	+ łatwy dostęp do agregatu w razie awarii + możliwość przygotowywania i tymczasowego przetrzymywania w gotowości pewnego zapasu substratu
Wady	- w razie zatorów itp. agregat trzeba opróżniać ręcznie - ręczne napełnianie agregatu
Cechy szczególne	- zasobniki wstępne mogą być instalowane w różnych rozmiarach - wysokość zasobników wstępnych powinna być dostosowana do dostępnej techniki maszynowej
Formy konstrukcji	- wolnostojący młyn do materiałów stałych - możliwe używanie wózków paszowych z narzędziami tnącymi lub szarpiącymi
Konserwacja	- może być ustalana z producentem w ramach umów o roboty konserwacyjne, jest konieczna w zależności od przerabianych substratów - dla uniknięcia przestojów wynikających z niezbędnych przerw w eksploatacji na czas robót konserwacyjnych można tymczasowo przetrzymywać pewien zapas rozdrobnionego materiału

Tabela 3-9: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne mieszadeł rozdrabniających w zbiorniku wstępnym

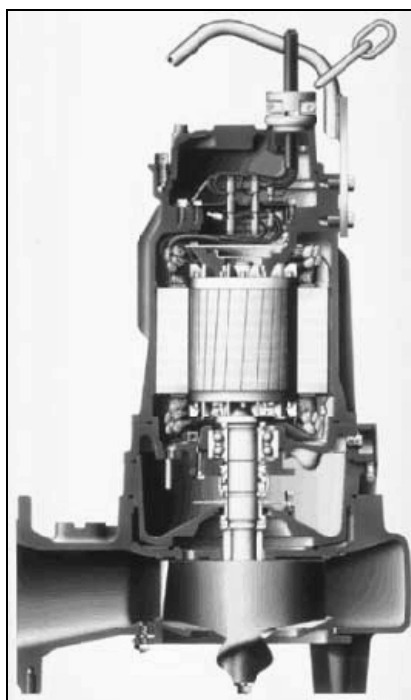
Parametry znamionowe	• pobór mocy: w typowych rzędach wielkości w technice mieszalnikowej ze wzrostem poboru o 6 kW przy mieszadłach o mocy 5-15 kW
Kwalifikacja	• obornik stały, resztki kuchenne, ścinki zielone z utrzymania zieleni, słoma
Zalety	+ bezpośrednie podawanie materiałów stałych do zbiornika wstępnego + dodatkowe agregaty są zbyteczne
Wady	- zwiększanie zawartości substancji suchej w fermentatorze jest możliwe wyłącznie do granicy pompowalności substratu - ryzyko tworzenia kożuchów i złogów dennych w zależności od substratu
Cechy szczególne	• przy bezpośrednim wprowadzaniu substancji stałych do fermentatora, np. przez studnie wlewowe mieszadła rozdrabniające mogą być również stosowane w fermentatorze
Formy konstrukcji	• z reguły jako łopatki mieszające z nożami tnącymi ew. z dodatkowo zamontowanymi nożami tnącymi na osi mieszadła
Konserwacja	• zależnie od typu mieszadła prace konserwacyjne można prowadzić na zewnątrz zbiornika wstępnego lub fermentatora bez przerywania procesu



Ilustracja 3-18: Rozdrabnianie substratu w przewodzie tłoczącym; zdjęcia: Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH

Tabela 3-10: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne agregatów rozdrabniających w przewodzie tłocznym

Parametry znamionowe	- rozdrabniacze o wydajności do 150 m³/h przy 5 % masy suchej (przy 1,5 - 11 kW) - dane znamionowe agregatów są silnie uzależnione od zawartości substancji suchej, wydajność urządzeń znacznie spada wraz ze wzrostem zawartości substancji suchej - pompy z tłokiem obrotowym: do 350 m³/h wydajności rozdrabniania
Kwalifikacja	- rozdrabniacze: substraty nie mogą zawierać kamieni, poza tym urządzenia nadaje się do substratów składowanych luzem i włóknistych - pompy z tłokiem obrotowym: substraty pompowalne bez większych kamieni
Zalety	+ łatwy dostęp do agregatu w razie awarii + w razie zatorów agregaty można łatwo otwierać i remontować
Wady	- zwiększanie zawartości substancji suchej w fermentatorze jest możliwe wyłącznie do granicy pompowalności substratu
Cechy szczególne	- należy zapewnić możliwość odcięcia agregatów od przewodu tłoczącego substrat za pomocą zasuw - należy zaplanować uruchamianie zasuwami obejście do użytku w razie awarii - osiągalną wielkość cząstek materiału określa się poprzez dobór odpowiedniej techniki rozdrabniającej i tnącej - rozdrabniacze można wyposażać w separatory frakcji ciężkich
Formy konstrukcji	- rozdrabniacze z nożami rotacyjnymi przed sitem tnącym - pompa z tłokiem obrotowym; tłoki obrotowe mogą mieć formę narzędzi tnących lub szarpiących
Konserwacja	- prace konserwacyjne przy agregatach wolnostojących można przeprowadzać bez długich przestojów, pompy zanurzeniowe można w tym łatwo wyciągać z substratu - otwory rewizyjne pozwalają na wydajne przyspieszenie tych prac



Ilustracja 3-19: Pompa głębinowa z krawędziami tnącymi na wirniku jako przykład zintegrowania agregatu rozdrabniającego z agregatem tłoczącym w jednym urządzeniu;
zdjęcia: ITT FLYGT pomp GmbH

Tabela 3-11: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne agregatów rozdrabniających, które wraz z techniką transportu bliskiego tworzą jedną jednostkę

Parametry znamionowe	• natężenia przepływu do 350 m³/h • wysokość pompowania do 25 m • pobór mocy: 7,5 - 15 kW
Kwalifikacja	• pompowalne substraty ze składnikami długowłóknistymi
Zalety	+ łatwy dostęp do agregatu w razie awarii + w razie zatorów agregaty można łatwo otwierać i remontować + brak potrzeby instalowania dodatkowych agregatów tłocznych
Wady	- zwiększanie zawartości substancji suchej w fermenterze jest możliwe wyłącznie do granicy pompowalności substratu - rozdrobieniu może ulegać jedynie niewielka część strumienia materiału wsadowego; udział posiekanego materiału w masie można zwiększyć przez kilkakrotne przepompowywanie wsadu
Cechy szczególne	• należy zapewnić możliwość odcięcia agregatów od przewodu tłoczącego substrat za pomocą zasuw • należy zaplanować uruchamianie zasuwami obejście do użytku w razie awarii • osiągalną wielkość cząstek materiału określa się poprzez dobór odpowiedniej techniki rozdrabniającej i tnącej

Formy konstrukcji	• pompy wirowe; koło wirnikowe z krawędziami tnącymi jako pompa montowana w środowisku suchym albo jako pompa głębinowa
Konserwacja	• prace konserwacyjne przy pompach wolnostojących można przeprowadzać bez długich przestojów, pompy głębinowe można w tym celu łatwo wyciągać z substratu • otwory rewizyjne pozwalają na wydane przyspieszenie tych prac

Zacieranie, homogenizowanie

Przyrządzanie zacieru z substratów jest konieczne, aby w fermentacji mokrej zwiększając zawartość wody dało się wytworzyć substraty pompowalne i następnie przetransportować je do fermentatora. Proces ten z reguły odbywa się w zbiorniku wstępnym tuż przed wprowadzeniem substratu do procesu fermentacji. Do przyrządzania zacieru w zależności od dostępnych materiałów jako płyn wykorzystuje się gnojowicę, już przefermentowaną gnojowicę biogazową, wodę procesową albo, w wyjątkowym przypadku, wodę świeżą. Stosowanie już przefermentowanej gnojowicy biogazowej może redukować zapotrzebowanie na wodę świeżą i ma tę zaletę, że substrat zostaje zaszczipiony bakteriami z procesu gnilnego już przed wejściem do fermentera. Stąd też taka metoda postępowania jest godna szczególnego polecenia po etapie higienizacji albo w metodzie przepływu tłokowego. W miarę możliwości należy wykluczać korzystanie z wody świeżej ze względu na koszty. W przypadku zacierania za pomocą wody z procesów oczyszczania należy mieć na uwadze, że środki dezynfekcyjne mogą upośledzać proces fermentacyjny, bowiem oddziaływanie takich środków jest negatywne również dla mikroorganizmów obecnych w fermentatorze. Stosowana do przyrządzania zacieru technika pompowania zostanie omówiona w rozdziale *Zacieranie*.

Homogeniczność doprowadzanych substratów ma wielkie znaczenie dla stabilności procesu fermentacji. Przy bardzo chwiejnym obciążeniu i zmieniającym się składzie substratu mikroorganizmy są zmuszone dopasowywać się zmiennych warunków, co najczęściej skutkuje stratami w uzysku biogazu. Homogenizacja pompowalnych substratów najczęściej odbywa się za pomocą mieszadeł w zbiorniku wstępnym. Technika mieszadeł została omówiona w rozdziale *Mieszadła*. Zachodzące tu przemieszanie mniej więcej odpowiada całkowitemu przemieszaniu odbywającemu się w systemach fermentatorów z idealnym mieszaniem (patrz rozdział *Metody z idealnym mieszaniem*).

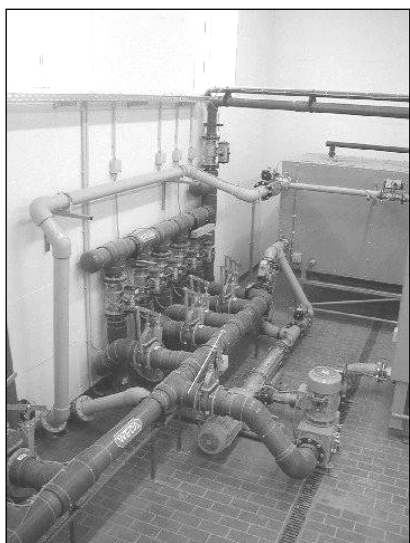
3.2.1.4 Transportowanie i wprowadzanie wsadu substratu

Z punktu widzenia procesu biologicznego nieprzerwany strumień substratu przepływający przez biogazownię byłby przypadkiem idealnym dla stabilnego procesu fermentacji. Jako że takiego rozwiązania prawie wcale nie da się zrealizować w praktyce, regułą stało się quasi-ciągłe doprowadzanie substratu do fermentatora. Doprowadzanie substratu następuje w kilku ładunkach przez cały dzień. Z tego wynika, że wszystkie agregaty niezbędne do transportowania substratu nie pracują w trybie ciągłym, a to odgrywa bardzo znaczącą rolę przy wstępnym rozplanowaniu instalacji.

Technika urządzeń do transportowania i podawania wsadu jest uzależniona przede wszystkim od właściwości substratu. Trzeba tu wprowadzić wyraźne rozróżnienie między techniką do substratów pompowalnych a substratów składowanych luzem.

Przy wprowadzaniu substratów należy zwracać uwagę na ich temperaturę. Przy dużych różnicach między temperaturą materiału wsadowego a temperaturą fermentatora (na przykład przy wprowadzaniu wsadu po etapie higienizacji lub w porze zimowej) biologia procesu ulega silnemu zaburzeniu, co może prowadzić do zmniejszenia uzysku biogazu. Jako rozwiązania techniczne obecnie stosuje się wymienniki ciepła i ogrzewane zbiorniki wstępne.

Transport substratów pompowalnych



Ilustracja 3-20: Pompy w biogazowni;
zdjęcie: WELtec BioPower GmbH

Do transportu substratów pompowalnych w obrębie biogazowni używa się przede wszystkim pomp napędzanych silnikami elektrycznymi. Pompy mogą być uruchamiane zegarami sterującymi lub mikroprocesorami, dzięki czemu cały proces może zostać częściowo albo całkowicie zautomatyzowany. W wielu przypadkach cały transport substrat w obrębie biogazowni jest realizowany przez jedną lub dwie pompy umieszczone centralnie w stacji pomp lub sterowni. Wtedy rozkład niezbędnych przewodów rurowych następuje w taki sposób, że wszystkie zachodzące zdarzenia operacyjne (np. zapełnianie wsadem, całkowite opróżnianie zbiorników, awarie, etc.) mogą być sterowane przez system dobrze dostępnych lub automatycznych zasuw. Przykład takiego rozwiązania dla instalacji pompowej i rurociągowej w biogazowni pokazuje ilustracja 3-20.

Należy mieć na uwadze fakt, żeby zapewnić dobry dostęp do pomp i wystarczająco dużo wolnej przestrzeni w ich otoczeniu. Mimo podejmowanych środków bezpieczeństwa i dobrego uzdatniania substratu może się zdarzyć tak, że w pompach powstaną zatory, które trzeba niezwłocznie usuwać. Poza tym trzeba mieć na uwadze fakt, że części ruchome pomp ulegają zużyciu mechanicznemu, pracując w biogazowni pod dużymi obciążeniami, toteż od czasu do czasu konieczna jest wymiana tychże części na nowe, i to bez wyłączania biogazowni z eksploatacji. Dlatego musi istnieć możliwość odcinania pomp od sieci rurociągów za pomocą zasuw zamykających na czas przeprowadzenia czynności konserwacyjnych. W tym zakresie używa się prawie wyłącznie pomp wirnikowych lub wyporowych, które również znajdują zastosowanie w technice transportowania gnojowicy.

Wybór odpowiednich pomp pod kątem wydajności i własności tłocznych w dużej mierze zależy od zastosowanych substratów i od stopnia ich uzdatnienia ew. od zawartości substancji suchej.

Do ochrony pomp można bezpośrednio przed nimi zainstalować aparaturę rozdrabniającą lub tnącą jak również separatory frakcji obcych bądź zastosować takie pompy, których elementy tłoczne są już wyposażone w urządzenia rozdrabniające.

Pompy wirnikowe

W pompach wirnikowych koło wirnikowe kręci się w nieruchomym korpusie, przeważnie zachowując stałą liczbę obrotów. Przetłaczane medium ulega przyspieszeniu za pomocą koła wirnikowego a wynikający stąd wzrost prędkości w krótcu tłocznym pompy wirnikowej zostaje przemieniony na wysokość tłoczenia bądź ciśnienie tłoczne. Pompy wirnikowe są szeroko rozpowszechnione w technice pompowania gnojowicy. Odpowiednie przykłady pokazuje ilustracja 3-19 w rozdziale Technika rozdrabniania. Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne są zestawione w tabeli 3-12.

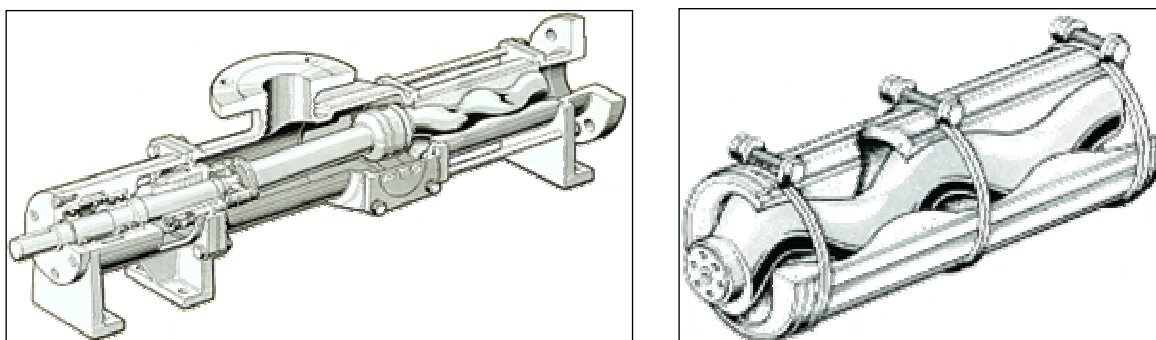
Tabela 3-12: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne pomp wirnikowych

Parametry znamionowe	• ciśnienie tłoczne: do 20 bar • ilość przetłaczanego materiału od 2 m³/min w górę • pobór mocy: np. 3 kW przy 2 m³/min; 15 kW przy 6m³/min, silnie uzależniony od substratu
Kwalifikacja	• rzadkopłynne substraty o niskich zawartością substancji suchej; dopuszcza się zawartość słomy
Zalety	+ prosta, zwarta i wytrzymała konstrukcja + wysoka wydajność mocy tłoczenia + elastyczność zastosowań
Wady	- nie jest samozasysająca, dlatego wymaga pozycjonowania poniżej lustra zasysanego substratu, np. w studziencie - nie nadaje się do dawkowania substratu
Cechy szczególne	• moc tłoczenia silnie uzależniona od ciśnienia tłoczenia bądź wysokości tłoczenia
Formy konstrukcji	• jako pompa głębinowa lub pompa montowana w środowisku suchym; dostępna także jako pompa tnąca; dostępna jako pompa głębinowa z napędem poniżej lub powyżej lustra substratu
Konserwacja	• utrudniona przy pompach głębinowych, jednakże w miarę łatwo dostępna przez otwory do pobierania • konieczność przestrzegania przepisów bezpieczeństwa podczas prac w fermentatorze • przerwy w eksploatacji są nieznacznie dłuższe niż w innych typach pomp

Pompy wyporowe

Do transportowania substratów gęstopłynnych o wysokich zawartościach substancji suchej stosuje się pompy wyporowe. Przy pompach wyporowych ilość przetłaczanego materiału można dozować zmieniając liczbę obrotów. W ten sposób zapewnia się łatwiejsze sterowanie pomp w połączeniu z dokładniejszym dawkowaniem substratu. Pompy te są samozasysające i ciśnieniowo stabilniejsze niż pompy wirnikowe, to znaczy, że ilość przetłaczanego materiału jest dużo słabiej uzależniona od wysokości tłoczenia. Pompy wyporowe są dość podatne na usterki powodowane ciałami obcymi, dlatego wskazana jest ochrona takich pomp za pomocą rozdrabniarek i separatorów ciał obcych przed frakcjami gruboziarnistymi i włóknistymi.

Tutaj stosuje się w większości pompy z tłokiem obrotowym i pompy śrubowe jednowirnikowe. *Pompy śrubowe jednowirnikowe* posiadają wirnik o kształcie korkociągu, który obraca się w statorze wykonanym z elastycznego materiału. Przez rotację wirnika powstaje wędrująca pusta przestrzeń, w której jest przemieszczany substrat. Odpowiedni przykład pokazuje ilustracja 3-21. Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne można odczytać z tabeli 3-13.



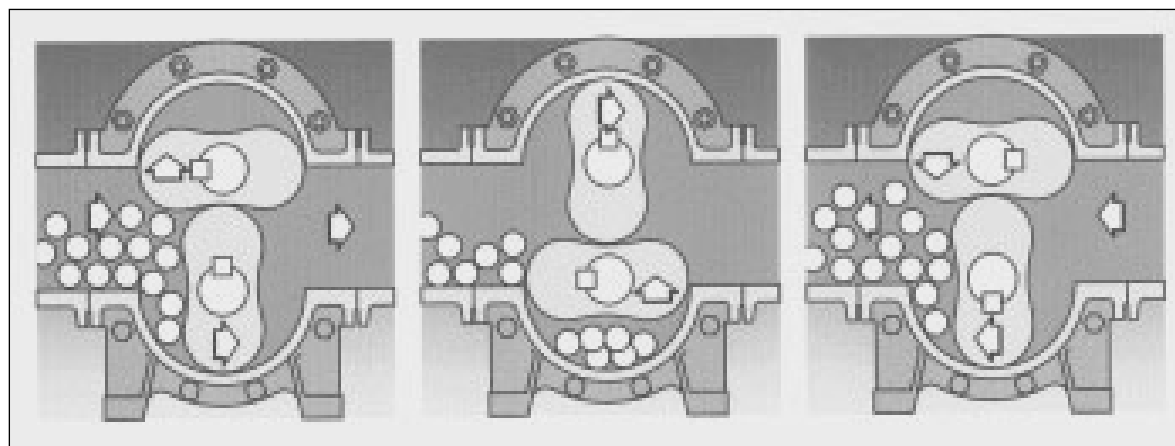
Ilustracja 3-21: Pompy śrubowe jednowirnikowe (z lewej), regulowany stator (z prawej); Ilustracje: Armatec-FTS-Armaturen GmbH & Co. KG

Tabela 3-13: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne pomp śrubowych jednowirnikowych

Parametry znamionowe	- ciśnienie tłoczenia: do 25 bar - ilość przetłaczanego materiału od 0,055 m³/min w górę - pobór mocy: np. 7,5 kW przy 0,5 m³/min; 55 kW przy 4m³/min, silnie uzależniony od substratu
Kwalifikacja	gęstopłynne pompowalne substraty z niewielkim udziałem ciał obcych
Zalety	+ samossąca + prosta, zwarta konstrukcja + nadaje się do dawkowania substratu

Wady	- mniejsza moc tłoczenia niż pompy wirnikowe - wrażliwa na suchobieg - wrażliwa na ciała obce (kamienie, materiały długowłókniste, przedmioty metalowe)
Cechy szczególne	• moc tłoczenia silnie uzależniona od lepkości, stabilne tłoczenie przy wahaniach ciśnienia • można zainstalować zabezpieczenie przed suchobiegiem • częste zastosowanie w technice ściekowej • stator można nastawiać częściowo w zależności od mocy tłoczenia, od substratu i zużycia • w specjalnej wersji konstrukcyjnej możliwa zmiana kierunku tłoczenia
Formy konstrukcji	• jako pompa montowana w środowisku suchym
Konserwacja	• bardzo długa żywotność, • ze względu na konstrukcję łatwe w konserwacji, dzięki szybkowymienialnym systemom tłoków potrzebują bardzo krótkich przerw w eksploatacji

Pompy z tłokiem obrotowym posiadają dwa przeciwbieżnie wirujące czterołopatkowe tłoki obrotowe umieszczone w owalnej obudowie. Obydwa tłoki obrotowe przetaczają się przeciwbieżnie na sobie z niewielkim luzem osiowym i promieniowym, ale nie dotykając się i nie dotykając korpusu. Tłoki ukształtowano w taki sposób, że w każdej pozycji przestrzeń ssąca jest oddzielona od przestrzeni tłocznej. W celu przetransportowania medium luki powstające w przestrzeni ssącej zostają zapełnione tłoczonym medium i przeniesione do przestrzeni tłocznej. Zasadę funkcjonowania pomp z tłokiem obrotowym można odczytać z ilustracji 3-22. Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne zawiera tabela 3-14.



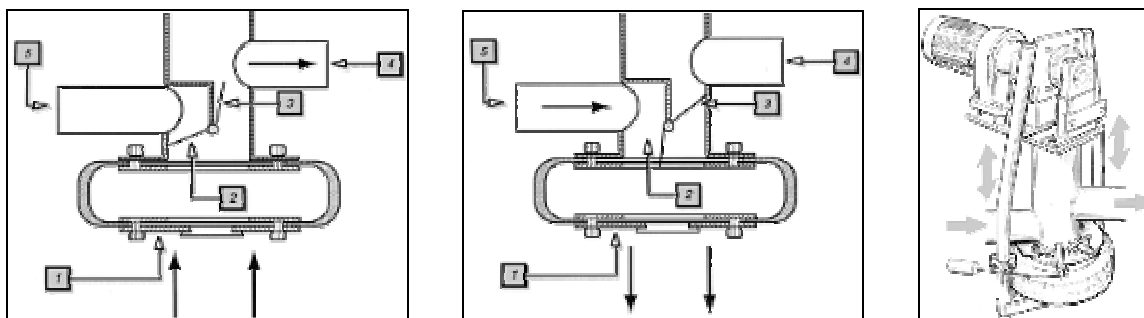
Ilustracja 3-22: Zasada działania pomp z tłokiem obrotowym; ilustracja: Vogelsang GmbH

Tabela 3-14: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne pomp z tłokiem obrotowym

Parametry znamionowe	- ciśnienia tłoczenia: do 16 bar - ilość przetłaczanego materiału od 0,1 m³/min w górę
Kwalifikacja	gęstopłynne pompowalne substraty
Zalety	+ prosta, zwarta konstrukcja + samozasysająca do 10 m słupa wody + nadaje się do dawkowania substratu + przenosi ciała obce i włókniste o większej ziarnistości niż pompy śrubowe jednowirnikowe + wrażliwość na suchobieg + zajmuje niewiele miejsca + seryjnie instalowana opcja zmiany kierunku tłoczenia
Cechy szczególne	- osiąganie wysokich obrotów do 1300 obr/min jest korzystne dla optymalizowania wydajności - nastawialne półskorupy optymalizują sprawność i żywotność przez eliminację luzu
Formy konstrukcji	jako pompa montowana w środowisku suchym
Konserwacja	ze względu na konstrukcję łatwa w konserwacji, dzięki szybkowymennym systemom tłoków potrzeba jedynie krótkich przerw w eksploatacji

Pompy miechowe

Pompy miechowe mogą być stosowane do przenoszenia gęstych substancji z dużą zawartością ciał obcych. Napęd zapewniany silnik przekładniowy za pomocą krzywki i korbowodu. Korbowód porusza dolny kołnierz (patrz ilustracja 3-23) w górę i w dół. Naprzemienne zasysanie i przykładanie ciśnienia powoduje automatyczne poruszanie się zaworów, tak że substrat zostaje przemieszczony od wlotu do wylotu. Opona służy w tym urządzeniu jako element tłoczący.



Ilustracja 3-23: Zasada działania pompy miechowej (kołnierz (1), zawory (2 i 3), wylot (4), wlot (5)); Rysunki: Armatec-FTS-Armaturen GmbH & Co. KG

Ze względu na znikomą ilość części ruchomych zapotrzebowanie na moc i zużycie mechaniczne jest niewielkie. Sam miech pracuje beztarciovo. Dwa ciśnieniowo sterowane zawory służą jako zabezpieczenie przeciwcofkowe podczas postoju pompy. Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne pomp miechowych przedstawia tabela 3-15.

Tabela 3-15: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne pomp miechowych

Parametry znamionowe	• ciśnienia tłoczenia: do 5 bar • ilość przetwarzanego materiału poniżej 1 m³/min • pobór mocy: np. 3 kW przy 0,25 m³/min, silnie uzależniony od substratu
Kwalifikacja	• gęstopłynne pompowalne substraty z wysoką zawartością ciał obcych
Zalety	+ prosta, zwarta konstrukcja + samozasysająca do 3 m słupa wody + nadaje się do dawkowania substratu + przenosi ciała obce i włókniste o większej ziarnistości + wrażliwość na suchobieg
Wady	- niewielka ilość przetwarzanego materiału
Formy konstrukcji	• jako pompa montowana w środowisku suchym
Konserwacja	• znikome zużycie ze względu na nieliczne części ruchome, dlatego łatwa w konserwacji

Transport substratów składowanych luzem

Przy fermentacji mokrej substraty składowane luzem trzeba przetransportować na miejsce wysypu materiału bądź na miejsce przyrządzania zacieru. Najczęstszym środkiem bliskiego transportu substratów są typowe ładowarki kołowe. Dopiero przy załadunku zautomatyzowanym stosuje się zgarniacze denne, zgarniacze listwowe (tzw. overhead) i przenośniki ślimakowe. Zgarniacze denne i zgarniacze listwowe są w stanie transportować niemal wszystkie składowane luzem substraty w płaszczyźnie poziomej lub z lekkim wzniesieniem. Jednak nie mogą być stosowane do dawkowania wsadu. Umożliwiają one stosowanie bardzo dużych zasobników wstępnych. Przenośniki ślimakowe są w stanie transportować substraty składowane luzem niemal we wszystkich kierunkach. Warunkiem wstępnym jest tutaj wyłącznie uwolnienie od dużych kamieni i rozdrobnienie substratu, aby mógł być zagarniany przez ślimak i dopasowywał się skrętów ślimaka. Automatyczne systemy przenośnikowe do substratów składowanych luzem z reguły stanowią w biogazowni jedną jednostkę wraz z agregatami wprowadzającymi wsad.

W znanych pilotażowych i doświadczalnych instalacjach fermentacji suchej substraty składowane luzem są przemieszczane wyłącznie na ładowarkach kołowych.

Wprowadzanie substratów pompowalnych

Pompowalne substraty z reguły są wprowadzane poprzez wpuszczone w podłoże i uszczelnione na odcieki zbiorniki wstępne z betonu, w których odciekająca gnojowica zostaje tymczasowo zmagazynowana i zhomogenizowana. Zbiorniki wstępne powinny być tak rozplanowane, aby miały zdolność zmagazynowania przynajmniej jednej do dwóch dziennych porcji materiału wsadowego. W przedsiębiorstwie rolnym do tego celu często wykorzystuje się gotowe doły gnojowicowe.

Jeżeli biogazownia nie dysponuje możliwością oddzielnego dodawania kosubstratów do bezpośredniego podawania wsadu, to wtedy w zbiorniku wstępnym również miesza się, rozdrabnia i homogenizuje również substraty składowane luzem, a w razie konieczności robi się z nich zacier potrzebny do wytworzenia mieszanek pompowalnych. Z tego powodu zbiorniki wstępne wyposaża się w mieszadła, a jeśli konieczne, to w kombinacji z urządzeniami tnącymi i szarpiącymi służącymi do rozdrabniania substratów. Jeśli obróbka obejmuje substraty zawierające ciała obce, to wówczas zbiornik wstępny służy tutaj również do oddzielania kamieni i złogów dennych, które można koncentrować i wygarniać np. za pomocą zgarniaczy dennych i przenośników ślimakowych [3-3]. Dla zapobieżenia emisji nieprzyjemnych zapachów zbiorniki wstępne powinny być zakryte. Niemniej pokrycie zbiornika powinno być wykonane w taki sposób, żeby nadal umożliwiało swobodne otwieranie zbiornika wstępnego a tym samym bezproblemowe wybieranie osiadłych sedymentów. Parametry znamionowe zbiorników wstępnych przedstawia tabela 3-16, a przykład pokazuje ilustracja 3-24.



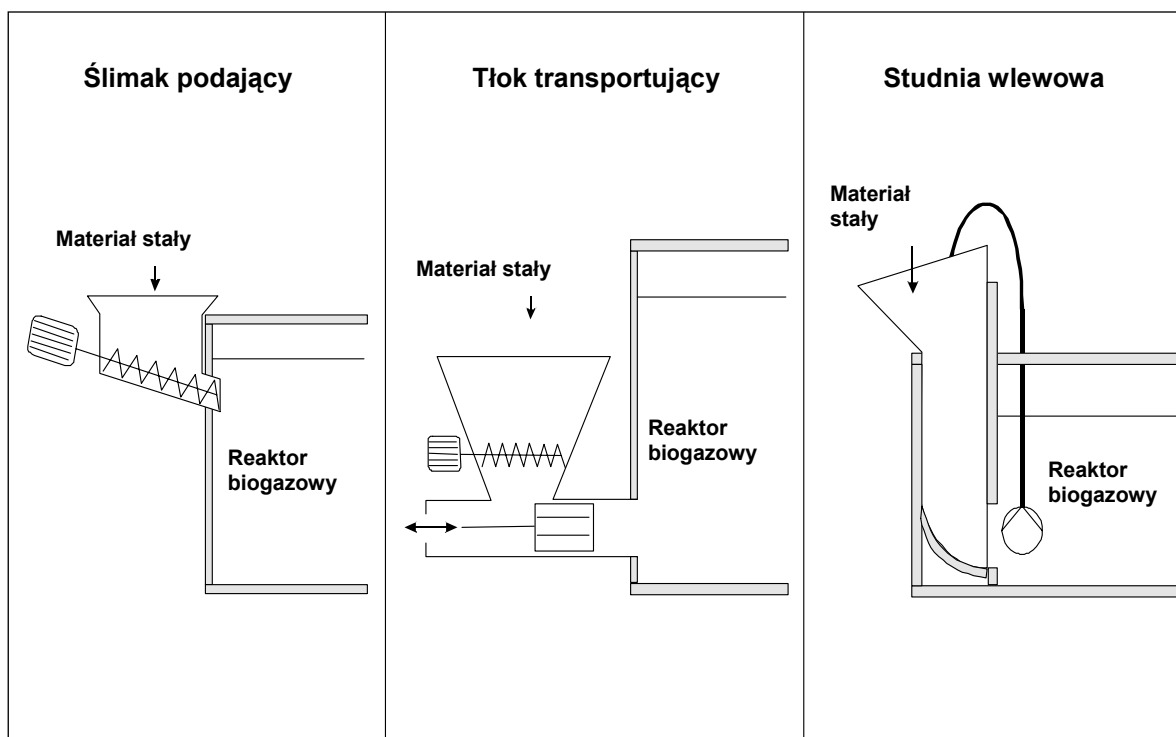
Ilustracja 3-24: Zbiornik wstępny ew. zbiornik przyjmujący podczas załadunku; zdjęcia: Loick Bioenergie, ENR – Energiegesellschaft nachwachsender Rohstoffe mbH; Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH

Tabela 3-16: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne zbiorników wstępnych

Parametry znamionowe	- wytwarzane z betonu wodoszczelnego, najczęściej z żelbetonu - objętość powinna wystarczać na dwie porcje dzienne wsadu substratowego
Kwalifikacja	- pompowalne, mieszalne substraty - przy użyciu techniki rozdrabniającej nadaje się również dla substratów składowanych luzem
Cechy szczególne	- możliwość dobrej homogenizacji i przemieszania substratów - możliwość tworzenia złogów dennych z kamieni - wybieranie złogów dennych powinno być możliwe poprzez odstojnik pompowy, doły zbiorcze lub za pomocą agregatów zgarniających - zaleca się zakrycie zbiornika wstępnego z powodu emisji zapachowych - wprowadzanie frakcji stałych może prowadzić do zatorów, tworzenia kożuchów i złogów dennych albo do odmieszania się
Formy konstrukcji	- zbiorniki o profilu okrągłym lub kwadratowym z zamknięciem na poziomie gruntu lub takie zbiorniki, gdzie ładowarka kołowa jeszcze może dosięgać do urządzenia ładującego wsad - zbiorniki usytuowane wyżej niż same fermentery mają tę zaletę, że dzięki powstającemu w takim układzie spadkowi hydraulicznemu nie trzeba już instalować techniki przenośnikowej - cyrkulację materiału można tu realizować takimi samymi technologiami jak w fermenterach
Konserwacja	- przy braku urządzeń do usuwania złogów dennych konieczne jest ręczne usuwanie złogów dennych - nie wymaga prawie żadnych nakładów na konserwację; konserwację agregatów technicznych opisano w odpowiednim rozdziale

Wprowadzanie substratów składowanych luzem

Poprzez wprowadzanie substratów składowanych luzem do zbiornika wstępnego i związane z tym problemy może dojść do utrudnień w ciągłym i zautomatyzowanym wprowadzaniu substratów do procesu fermentacyjnego a przez to do zwiększenia nakładów pracy. Z tych powodów materiały stałe najczęściej są dodawane bezpośrednio do fermentatora z pominięciem zbiornika wstępnego. W ten sposób kofermenty w regularnych odstępach czasu można zasilać niezależnie od gnojowicy [3-8]. Poza tym istnieje możliwość zwiększania zawartości substancji suchej w fermentatorze a tym samym polepszania uzysku biogazu. Schematyczną wizualizację procesu wprowadzania składowanych luzem substratów przedstawia ilustracja 3-25.



Ilustracja 3-25: Metody wprowadzania biomasy składowanej luzem; ilustracja: FAL Braunschweig

Studnie wlewowe

Wprowadzanie wsadu przez studnie lub śluzy wlewowe pozwala w dowolnym czasie na bezpośrednie wprowadzanie do fermentatora jeszcze większych porcji substancji stałych za pomocą ładowarek przedsiębiernych lub kołowych. Tabela 3-17 pokazuje przegląd właściwości studni.

Tabela 3-17: Właściwości studni wlewowych

Parametry znamionowe	wielkość otworu wyspowego należy dopasować do dostępnego typu ładowarki kołowej
Kwalifikacja	wszystkie substraty nadające się do transportowania przez ładowarkę kołową
Zalety	+ niewielkie nakłady budowlane + niewielkie koszty inwestycyjne i bieżące
Wady	- silne emisje zapachowe - brak możliwości dawkowania i niewielka ilość operacji załadowniczych w ciągu dnia - znane w praktyce przypadki występowania zatorów - nie można dodawać temperowanego substratu - przenikanie tlenu do procesu fermentacji

Cechy szczególne	- wysokość załadowniczą należy dopasować do zasięgu ładowarki kołowej - bez wstępnej techniki rozdrabniającej konieczne jest zainstalowanie techniki rozdrabniającej w fermenterze
Formy konstrukcji	- konstrukcje blaszane ze stali szlachetnej lub konstrukcje ze stali szlachetnej umożliwia wprowadzanie substancji stałych pod powierzchnię substratu w fermenterze; dopłukanie studni wlewowej możliwe dzięki pompom cyrkulacyjnym substratu fermentacyjnego z fermentera - w studni wlewowej można instalować agregaty mieszające
Konserwacja	- prawie zbędna, w razie zatorów studnię wlewową trzeba opróżniać ręcznie - utrudniona przez swobodne lustro substratu w studni - obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermenterze

Tłok podający

Przy wprowadzaniu za pomocą tłoka transportowego kosubstraty są dostarczane za pomocą cylindra hydraulicznego bezpośrednio do fermentatora poprzez otwór w ścianie fermentatora tuż przy podstawie. Wprowadzanie materiału w pobliżu powoduje jego przemoczenie gnojowicą i a przez to redukuje ryzyko powstawania kożuchów. System ten jest wyposażony w przeciwbieżne walce mieszające, które transportują kosubstraty do niżej leżącego cylindra i jednocześnie rozdrabniają materiały długowłókniste [3-1]. Parametry znamionowe tłoków podających przedstawia tabela 3-18, wizualizację przykładu pokazuje ilustracja 3-26.



Ilustracja 3-26: Wprowadzanie składowanej luzem biomasy za pomocą tłoka podającego;
zdjęcie: PlanET Energietechnik

Tabela 3-18: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne tłoków podających

Parametry znamionowe	• Zasobnik wstępny do 15 m³
Kwalifikacja	• wszystkie typowe składowane luzem kosubstraty, w zależności od techniki ślimakowej także z kamieniami
Zalety	+ w dalekim stopniu bezzapachowy + bardzo dobra dozowność + automatyzowalny
Wady	- ryzyko tworzenia złożeń dennych - ryzyko zbrylania wyprasowywanego substratu, a przez to utrudnienie dostępu dla mikroorganizmów w fermentatorze
Cechy szczególne	• doprowadzenie musi być w konstrukcji płynoszczelnej • wysokość i wielkość napełniania należy dopasować do technicznych urządzeń napełniających w przedsiębiorstwie • cylinder tłoczny musi być oddzielany od fermentatora zasuwami • ze względu na ryzyko zbrylania materiału zaleca się montaż noża krzyżakowego do rozdrabniania sprasowanego czopa wsadowego • wymaga miejsca bezpośrednio obok fermentatora • częściowa możliwość podawania materiału dozowanego wagowo przez zainstalowanie techniki wagowej
Formy konstrukcji	• cylinder hydrauliczny z napędzanymi hydraulicznie lub elektrycznie ślimakami doprowadzającymi wsad
Konserwacja	• ze względu na ruchome części należy uwzględnić regularne nakłady na prace konserwacyjne • zasobniki wstępne z reguły muszą być opróżniane ręcznie w razie wystąpienia awarii, stąd też większe zbiorniki nie zawsze stanowią tutaj zaletę • konserwacja tłoka wiąże się po części ze znacznymi przerwami w przebiegu procesu technologicznego, ewent. z opróżnieniem fermentatora

Wprowadzanie za pomocą ślimaków podających

Przy zasilaniu w kosubstraty za pomocą ślimaków przenoszących bądź podających kosubstrat jest przeciskany przez ślimaki prasujące umieszczone poniżej lustra cieczy znajdującej się w fermentatorze. W ten sposób zabezpiecza się instalację przed wyciekami gazu. W najprostszym wariantcie tej metody dozownik ustawia się na fermentatorze tak, że do wprowadzania materiału niezbędny jest tylko jeden podajnik ślimakowy. Poza tym materiał musi pokonywać dystans na szczyt fermentatora za pomocą ślimaków podnoszących.

Do zasilenia ślimaka materiałem wykorzystuje się zasobnik wstępny, który jest bądź nie jest wyposażony w narzędzia rozdrabniające [3-8]. Parametry znamionowe systemów doprowadzających za pomocą przenośników ślimakowych przedstawia skrótowo tabela 3-19, a przykład pokazuje ilustracja 3-27.



Ilustracja 3-27: Wprowadzanie biomasy składowanej luzem za pomocą przenośników ślimakowych; zdjęcie: Pumpe GmbH

Tabela 3-19: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne ślimaków podających [3-1]

Parametry znamionowe	• Zasobnik wstępny do 40 m³, wózek paszowy do 16 m³
Kwalifikacja	• wszystkie typowe składowane luzem kosubstraty z kamieniami mniejszymi od skrętów ślimaka • nie nadaje się do substratów długowłóknistych w zasobnikach wstępnych z ramieniem mieszającym • przy wózkach paszowych nadaje się również do obornika z dużą ilością słomy i dużych beł
Zalety	+ kierunek przemieszczania nie gra żadnej roli + automatyzowalny
Wady	- ścieranie na obudowach ślimaków i ślimakach - możliwość tworzenia pomostów z materiału wsadowego na przejściu z zasobnika wstępnego do ślimaka w zbiornikach nie wyposażonych w ramię mieszające - wrażliwość na kamienie - wysokie zapotrzebowanie na moc przy wózkach paszowych
Cechy szczególne	• możliwość zacierania materiału gnojownicą z fermentera • konieczność zabezpieczenia przed ucieczką gazu przez ślimaki • możliwość wagowego dozowania przy instalacji techniki wagowej

Formy konstrukcji	• ślimak prasujący z zasobnika wstępnego wiodący pionowo do fermentera • ślimak prasujący z zasobnika wstępnego wiodący poziomo do fermentera • system ślimakowy pokonujący wysokość fermentera i do wprowadzania materiału pod lustrem cieczy w fermenterze • zasobnik wstępny z grawitacyjnym doprowadzeniem materiału na ślimak • zasobnik wstępny z denne płaskim i ramieniem mieszającym nad otwartym ślimakiem • zasobnik wstępny jako wózek paszowy ze zgarniaczem dennym i mieszadłem pionowym z przeciwostrem
Konserwacja	• ze względu na ruchome części należy uwzględnić regularne nakłady na prace konserwacyjne • zasobniki wstępne z reguły muszą być opróżniane ręcznie w razie wystąpienia awarii, stąd też większe zbiorniki nie zawsze stanowią tutaj zaletę • konserwacja ślimaka transportującego materiał do fermentera wiąże się po części ze znacznymi przerwami w przebiegu procesu technologicznego

Upłynnianie biomasy

Kofermenty (np. buraki) podczas przeróbki buraków są uzdatniane za pomocą typowych agregatów rozdrabniających, że przechodzą do stanu pompownego. Pozostająca przy tym zawartość substancji suchej utrzymuje się na poziomie 18 %. Upłynnione substraty magazynuje się w odpowiednich zbiornikach i pomijając zbiornik wstępny przepompowuje się je bezpośrednio do fermentatora za pomocą agregatów omówionych w rozdziale 0. Dzięki temu procesowi można uniknąć zwiększania zawartości substancji suchej w fermenterze przy stosowaniu gnojowicy będącej tam substratem podstawowym [3-8].

Wprowadzanie substratów składowanych luzem w procesie fermentacji suchej

Ze względu na prostotę konstrukcji techniki fermentatora w procesie fermentacji suchej w instalacjach eksploatowanych na sale pilotażową nie przewiduje się automatyzacji zapewniania materiałem. Czynności zapewniania jak i opróżniania wykonuje się za pomocą typowej dla rolnictwa techniki, najczęściej ładowarkami kołowymi.

Armatury i przewody rurowe

Stosowane armatury i przewody rurowe muszą być odporne na media i korozję. Armatury typu sprzęgi, zasuwki odcinające, klapy przeciwwrotne, otwory rewizyjne (do czyszczenia) i manometry muszą łatwo dostępne i łatwe w obsłudze jak również zainstalowane w sposób zabezpieczający przed przemarzaniem.

Wymagania stawiane wobec armatur i przewodów rurowych są opisane w dokumencie „Reguły bezpieczeństwa dla biogazowni rolniczych” [niem.: „*Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen*“]. Zawarte tam regulacje dotyczące właściwości materiałowych, środków bezpieczeństwa i sprawdzianów szczelności mają być przestrzegane jako minimalne wymagania dla bezpiecznej eksploatacji biogazowni. Jako *nadzwyczajnie istotny czynnik okazało się to, że ze wszystkich przewodów gazowych we wszystkich miejscach musi istnieć możliwość spuszczenia kondensatu* ewentualnie przy budowie tych przewodów trzeba zadbać o na tyle dostateczne nachylenie, żeby nawet ich niewielkie lekkie osiadanie nie prowadziło do powstawania nieprzewidzianych punktów szczytowych w tychże przewodach. Z powodu niedużych ciśnień panujących w systemie już nawet bardzo znikome ilości wody kondensacyjnej mogą powodować całkowite zatkanie przewodu. Najważniejsze parametry znamionowe opisano w tabeli 3-20, a ilustracje 3-28 oraz 3-29 przedstawia pogląd na te instalacje.

Tabela 3-20: Parametry znamionowe armatur i przewodów rurowych; według [3-1]

Parametry znamionowe	• materiał konstrukcyjny rur: PVC, HDPE, stal lub stal szlachetna, zależnie od obciążeń mediami i poziomem ciśnienia • nie można instalować rurociągów żeliwnych ze względu na zarastanie osadami • przewody ciśnieniowe powinny mieć średnicę 150 mm, przewody bezciśnieniowe raczej 300 mm średnicy
Cechy szczególne	• zasuwy wykonane jako zasuwy klinowe bardzo dobrze uszczelniają, ale są bardzo wrażliwe na kamienie • zasuwy nożowe przecinają materiały włókniste • jako szybko rozłączane połączenia rurowe należy stosować szybkozłączki kulowe • przy wszystkich armaturach i rurociągach należy zadbać o zabezpieczenie przed zamarzaniem, przy ciepłym substracie należy założyć izolację • przy układaniu rur należy zadbać o spadek rzędu 1-2%, aby umożliwić opróżnianie • przewody należy układać w taki sposób, aby zapobiegać cofaniu się substratu z fermentera do zbiornika wstępnego • przy kładzeniu rur w gruncie należy zadbać o dobre uszczelnienie przed instalacją • przed klapami przeciwwrotnymi należy zainstalować zasuwy na wypadek, gdyby ciała obce powodowały niedomykanie się klapy przeciwwrotnej • musi istnieć możliwość spuszczenia kondensatu ze wszystkich przewodów rurowych



Ilustracja 3-28: Pomost roboczy między dwoma zbiornikami z rurociągami i zabezpieczeniami ciśnieniowymi; Zdjęcie: MT-Energie GmbH



Ilustracja 3-29: Oddzielacz ciał ciężkich w rurociągu; zdjęcie: Institut für Energetik i Umwelt gGmbH

3.2.2 Uzyskiwanie biogazu

Biogaz uzyskuje się z przefermentowania substratów fermenterach. Fermentator, włącznie z przynależnymi urządzeniami peryferyjnymi, jest sercem biogazowni. Różne wersje fermentatorów pod kątem materiałów i rodzaju konstrukcji często wywodzą się z magazynów gnojowicy używanych w rolnictwie i są adaptowane do specyficznych wymagań techniki biogazowej. Ilość substratu i wybrany hydrauliczny czas retencji określają pojemność fermentatorów. Zależnie od posiadanych do dyspozycji substratów, wybranej metody fermentacji oraz od uwarunkowań lokalnych fermentatory mogą być wykonywane w różnych wersjach. Jednak niezależnie od swojej wersji fermentatory muszą spełniać pewne założenia podstawowe, a zatem muszą:

- być gazo- i płynoszczelne,
- posiadać możliwość osiągania wymaganej temperatury procesowej poprzez doprowadzanie ciepła (ogrzewanie),
- zapobiegać stratom ciepła i wahaniom temperatur np. poprzez izolację termiczną,
- zapewniać możliwość idealnego przepływu substratu, aby nie dopuszczać do spadków temperatur, tworzenia się kożuchów i złogów dennych, do spadku stężenia substancji odżywczych w substracie i złego odgazowywania substratu jak również muszą zapewniać homogenizację substratu,
- posiadać urządzenia bądź możliwości wygarniania sedymentów,
- posiadać urządzenia do odprowadzania uzyskiwanego biogazu oraz
- posiadać technikę pomiarową, sterującą i regulacyjną do monitoringu i sterowania procesem fermentacji i higienizacji, jak również posiadać możliwości do pobierania próbek z fermentatora.



Ilustracja 3-30: Widok do wnętrza fermentera;
zdjęcie: Biogas Nord GmbH

Oprócz tego do wyposażenia fermentatorów zaliczają się iluminatory z urządzeniami czyszczącymi służące do kontroli wizualnej procesu fermentacji (przykład pokazuje ilustracja 3-30) oraz studzienki rewizyjne do przeprowadzania potencjalnie niezbędnych prac konserwacyjnych i naprawczych. W dalszej kolejności należy przewidzieć zainstalowanie armatur zabezpieczających jak również zabezpieczeń przed nadciśnieniem i niskim ciśnieniem służących dotrzymaniu przepisowych zasad bezpieczeństwa.

Stosowanym do budowy materiałom stawia się - oprócz tych konstrukcyjnych i technicznych - dodatkowe wymagania. Należy dopilnować, żeby zastosowane materiały nadawały się do pracy w środowisku panującym w fermentatorze. Jako szczególnie problematyczna okazała się strefa przejściowa od lustra cieczy do zbiornika magazynowego gazu oraz sam zbiornik magazynowy gazu. Tutaj konieczne okazuje się stosowanie wyłącznie takich materiałów, które są odporne na działanie kwasów i korozję.

Dla uniknięcia błędów podczas budowy i związanych z nimi uszkodzeń bądź zniszczeń fermenterów planowanie i wykonawstwo należy zlecać wykwalifikowanym firmom specjalistycznym. Oprócz statyki zbiorników trzeba również uwzględniać środki zabezpieczające materiały budowlane (ochrona antykorozyjna, itd.). W razie zlekceważenia podstawowych reguł i wymagań minimalnych mogą wystąpić ciężkie a przede wszystkim kosztowne uszkodzenia fermenterów bądź całej biogazowni. W dalszej kolejności zostaną bliżej omówione wszystkie podzespoły konstrukcyjne, których używa się przy fermentacji.

3.2.2.1 Formy konstrukcyjne fermentatora

Ze względu na metodę funkcjonowania fermentery przeznaczone do fermentacji mokrej i suchej odznaczają się zasadniczymi różnicami.

Fermentacja mokra

Fermentacja mokra jest przeprowadzana w zamkniętych zbiornikach porównywalnych z cysternami. Zasadniczo podział wyróżnia fermentery stojące i leżące.

Fermentatory leżące

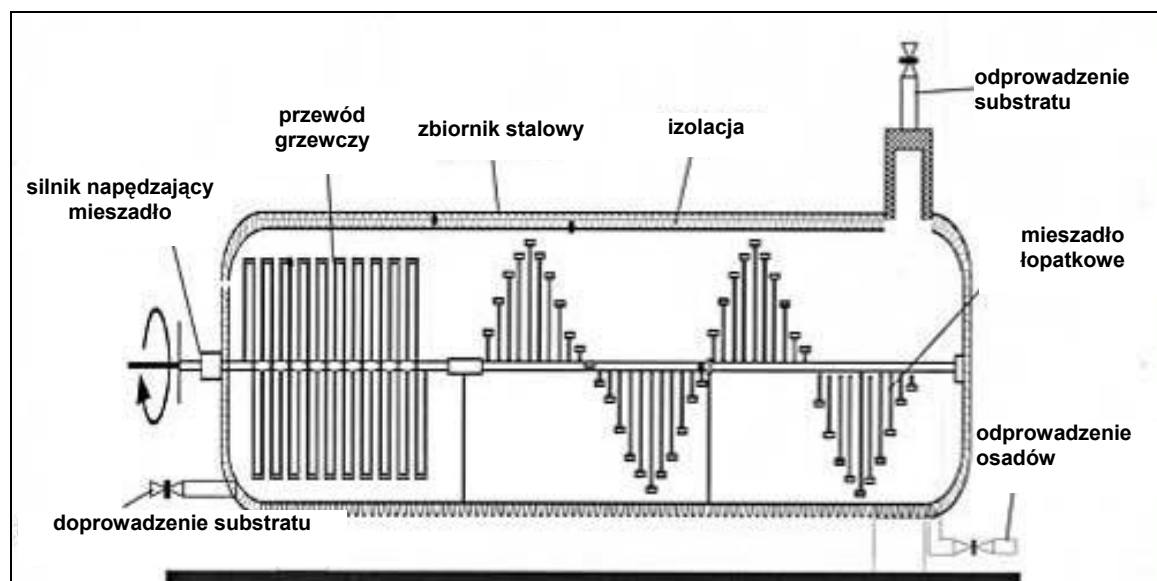
Fermentatory leżące mają kształt cylindryczny i podlegają pewnym ograniczeniom w zakresie swojej objętości, jako że często nie da się ich sporządzić na miejscu. Jednak niezbędny z tego powodu transport fermentatorów na miejsce eksploatacji jest możliwy tylko do pewnej wielkości zbiornika.

Takie fermentery często są wykonywane w konstrukcji zbiorników stalowych i wchodzi w grę jako fermentatory główne dla mniejszych obiektów albo jako fermentatory wstępne dla większych obiektów posiadających fermentery stojące. Fermentatory leżące bywają również eksploatowane równolegle, aby w ten sposób przerabiać większe ilości przepuszczanego wsadu.

Jako że zbiorniki leżące z reguły mają wielokrotnie proporcje długości do wysokości, to następuje w nich automatycznie nastawienie tak zwanego przepływu tłoczego. Zjawisko to polega tym, że substrat powoli wędruje od strony wejściowej do wyjściowej, tworząc swoisty czop przepływający przez wnętrze fermentatora. W ten sposób zmniejsza się możliwość niezamierzonego wygarnięcia nieprzefermentowanego substratu z fermentatora, a okres przetrzymania całego materiału wsadowego może być utrzymany z większą pewnością [3-3]. Parametry znamionowe i cechy szczególne fermentatorów leżących przedstawia tabela 3-21, a ilustracja 3-31 pokazuje przykład fermentatora leżącego.

Tabela 3-21: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne fermentatorów leżących dla biogazowni

Parametry znamionowe	• materiał: przeważnie stal i stal szlachetna, możliwy również żelbetonu • objętość: możliwa do ok. 800 m³
Kwalifikacja	• wszystkie typy substratów, dopasowanie agregatów technicznych określa kwalifikację
Zalety	+ można zastosować wydajne, niezawodne w działaniu i energooszczędne mieszadła
Wady	- zapotrzebowanie zbiorników na miejsce - wysokie straty ciepła z powodu dużej powierzchni w stosunku do objętości - brak zaszczepiania świeżego materiału wsadowego albo konieczność zwracania substratu fermentacyjnego do obiegu
Cechy szczególne	• konieczność zaplanowania otworów na wszystkie podłączane agregaty i rurociągi • dla bezpieczeństwa konieczne jest zainstalowanie zaworu nadciśnieniowego dla zbiornika magazynowego gazu
Formy konstrukcji	• jako reaktor z przepływem tłokowym o przekroju okrągłym lub kwadratowym
Konserwacja	• trzeba zaprojektować przynajmniej jeden wjazd, aby móc wchodzić do reaktora w razie awarii • obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermentatorze



Ilustracja 3-31: Leżący fermentator zbiornikowy z mieszadłem łopatkowym według [3-4]

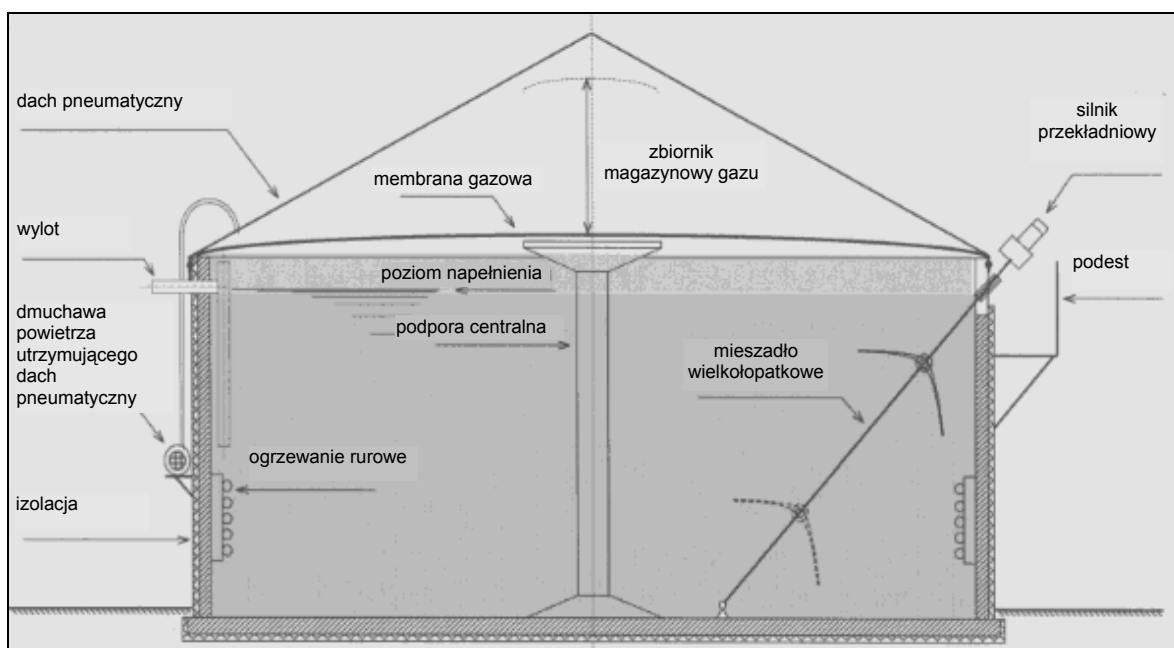
Fermentatory stojące

Fermentatory stojące (pionowe) przeważnie występują jako zbiorniki okrągłe i są budowane na miejscu przeznaczenia. Mogą być eksploatowane jako reaktory z idealnym mieszaniem (zasada mieszalnika) lub jako reaktor z przepływem tłokowym. W praktyce fermentatory stojące są takimi fermentatorami, które od samego początku zbudowano do wykonywania określonej funkcji. Parametry znamionowe fermentatorów stojących pokazuje tabela 3-22, przykład pokazano na ilustracji 3-32.

Tabela 3-22: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne fermenterów stojących

Parametry znamionowe	• materiał: żelazobeton, stal i stal szlachetna • objętość: teoretycznie nieograniczona, możliwa do 30.000 m³, ale w większości nie większa niż 6.000 m³ ze względu na trudność przemieszczania większych fermenterów
Kwalifikacja	• wszystkie typy substratów, dopasowanie agregatów technicznych określa kwalifikację
Zalety	+ korzystny stosunek powierzchni do objętości, a przez to mniejsze straty ciepła
Wady	- w reaktorach z idealnym mieszaniem istnieje ryzyko powstania przepływu obejściowego - możliwość powstawania kożuchów i złogów dennych
Cechy szczególne	• reaktor musi być gazoszczelny • zaleca się budowę nachylonego dachu ze względu na potencjalne obciążenie przez masy śniegu • grunt pod budowę musi mieć bardzo dużą nośność, ponieważ nie powinno występować jakiegokolwiek osiadanie

Cechy szczególne	• konieczność zaplanowania otworów na wszystkie podłączane agregaty i przewody rurowe • dno komory reaktora można wykonać ze spadkiem w centrum lub na skraju, aby dzięki temu umożliwić efektywne wybieranie sedymentów • dla bezpieczeństwa konieczne jest zainstalowanie zaworu nadciśnieniowego dla zbiornika magazynowego gazu
Formy konstrukcji	• konstrukcja podziemna z przejezdnym dachem na poziomie gruntu; konstrukcja częściowo wpuszczona w ziemię lub stojąca na podłożu • ze stałym pułapem betonowym lub zadaszeniem jako membrana gazowa zakryta lub nie daszkiem chroniącym przed warunkami atmosferycznymi • z idealnym mieszaniem lub konstrukcja specjalna jako reaktor z przepływem tłokowym
Konserwacja	• trzeba zaprojektować przynajmniej jeden wjazd, aby móc wchodzić do reaktora w razie awarii • obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermenterze



Ilustracja 3-32: Fermentator stojący z elementami wbudowanymi; rysunek: Anlagen- und Apparatebau Lütke GmbH

Fermentacja sucha

Konstrukcyjne wykonanie fermenterów do fermentacji suchej jest bardzo różnorodne. Z tego powodu w tabeli 3-23 przypomniano ogólnie wymagane warunki ramowe i parametry znamionowe dla fermenterów do fermentacji suchej, które należy przestrzegać.

Tabela 3-23: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne zbiorników do fermentacji suchej

Kwalifikacja	• do substratów składowanych luzem
Zalety	+ efektywne wykorzystanie przestrzeni przez wysoką zawartość substancji suchej + związane z w/w nieduże koszty inwestycyjne i małe zapotrzebowanie na miejsce
Wady	- przy reaktorach bez mieszania idealnego osiadanie osłabia odgazowanie - ryzyko tworzenia się stref o zbyt wysokim i zbyt niskim nasyceniu wodą - ryzyko tworzenia się stref zakwaszania bez produkcji metanu - przy metodach okresowych (batchowych) produkcja gazu jest nierównomierna
Cechy szczególne	• reaktor musi być gazoszczelny, a to dotyczy w szczególności otworów do zasilania wsadem i odbierania • przebieg zasilania i odbioru musi być możliwy bez ryzyka uszkodzenia uszczelnień lub innych urządzeń fermentera • dla bezpieczeństwa konieczne jest zainstalowanie zaworu nadciśnieniowego dla zbiornika magazynowego gazu
Formy konstrukcji	• patrz rozdział 3.1.4.2.
Konserwacja	• w fermenterach zamkniętych trzeba zaprojektować przynajmniej jeden wjazd, aby móc wchodzić do reaktora w razie awarii • obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermenterze

3.2.2.2 Konstrukcja fermentatorów

Zasadniczo fermentatory składają się z fermentera właściwego zabudowanego w izolacji termicznej, systemu grzewczego, agregatów mieszających i systemów wygarniających sedymenty oraz przefermentowany substrat.

Konstrukcja zbiornika

Fermentery konstruuje się albo ze stali, stali szlachetnej albo żelbetonu.

Żelbeton staje się wystarczająco gazoszczelny przez nasycenie wodą, przy czym wymagana do tego celu wilgoć jest już zawarta w substracie i biogazie. Takie fermentatory są odlewane na miejscu z betonu lub, aczkolwiek rzadziej, składane z gotowych prefabrykatów. Przy zbiornikach betonowych istnieje możliwość częściowego bądź całkowitego wpuszczania ich w ziemię, o ile pozwalają na to właściwości podłoża. Dach zbiornika może być wykonany z betonu, a w zbiornikach wpuszczanych może być również wykonany w wersji przejazdowej, przy czym uzyskiwany pod nim biogaz jest magazynowany w zewnętrznym zbiorniku gazu.

A jeśli fermentator ma jednocześnie służyć jako magazyn gazu, to w takiej wersji stosuje się gazoszczelne dachy foliowe. Przy zbiornikach przekraczających pewną wielkość zachodzi konieczność stosowania centralnych podpór podtrzymujących stropy betonowe. Natomiast w przypadku niewłaściwego wykonawstwa pojawi się niebezpieczeństwo pęknięcia takiego stropu. W przeszłości nierzadko dochodziło pęknięcia, rozszczelnienia i korozji betonu, co w przypadkach ekstremalnych skutkowało nawet koniecznością zburzenia całego fermentatora. Takim problemom trzeba zapobiegać stosując beton o odpowiedniej jakości i przeprowadzając profesjonalne projektowanie fermentatora. Federalne Zrzeszenie Przemysłu Cementowego e. V. [niem.: *Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e. V.*] wydało biuletyn informacyjny nt. cementu pt. „Beton do



Ilustracja 3-33: Budowa fermentatora betonowego; zdjęcie: Johann Wolf GmbH & Co Systembau KG

zbiorników w biogazowniach“. W tym biuletynie zdefiniowano zalecenia dotyczące wymagań jakościowych betonu dla fermenterów żelbetonowych. Najważniejsze dane wyjściowe dotyczące betonu do specyficznych zastosowań w budowie biogazowni zawiera tabela 3-24. Dodatkowe informacje można znaleźć w biuletynach rolniczych nt. cementu LB 3 [3-10] i LB 13 [3-11]. Przykład wizualizacji fermentera żelbetonowego w stadium budowy pokazuje ilustracja 3-33.

Tabela 3-24: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne betonu dla zbiorników stosowanych w biogazowniach [3-10] [3-11] [3-14]

Parametry znamionowe	- dla fermenterów $\geq B 35$; dla zbiorników wstępnych i magazynów gnojowicy $\geq B 25$ - Wskaźnik wodno-cementowy $\leq 0,5$; dla zbiorników wstępnych i magazynów gnojowicy $\leq 0,6$ - obliczeniowe ograniczenie szerokości pęknięć na $\leq 0,15$ mm - krycie zbrojenia betonem, wymiar minimalny wewnętrzny 4 cm - minimalny czas pielęgnowania betonu po zakończeniu robót powinien być podwojony
Kwalifikacja	do wszystkich typów fermentera (leżących i stojących) jak i do dołów
Zalety	+ fundament i fermenter mogą być prefabrykowane + po części możliwy montaż z prefabrykatów

Wady	- budowa wyłącznie w sezonie bez mrozów - czas budowy dłuższy niż przy fermenterach stalowych - wykonawstwo otworów, które okazały się niezbędne po fazie budowy, będzie narażało na sporych nakładów
Cechy szczególne	• przy instalacjach ogrzewania podłogowego należy uwzględniać naprężenia wynikające z ogrzewania • bezwzględnie konieczne zapewnienie gazoszczelności • naprężenia częściowo mogące wynikać z dużych różnic temperatur wewnątrz budowli, muszą być uwzględniane przy montażu zbrojenia, aby nie dopuścić do uszkodzeń • powierzchnie betonowe nie zawsze pokryte substratem (zbiornik magazynowy gazu) wymagają szczególnego zabezpieczenia powłokami (np. epoksydem) chroniącymi przed korozją kwasową • miejscowe władze często żądają zainstalowania systemu wykrywania przecieków • bezwzględnie konieczne zapewnienie odporności na siarczany (przez zastosowanie cementu siarczanoodpornego [tzw. HS cement]) • statykę zbiornika należy bardzo gruntownie zaplanować zgodnie z specyfiką lokalizacji, aby nie dopuścić do pęknięć i uszkodzeń

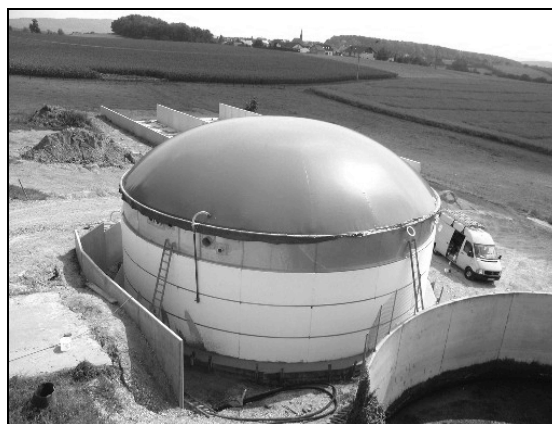
Zbiorniki ze stali i stali szlachetnej są osadzone na betonowym fundamencie i zostają z nim połączone. Stosuje się przy tym pasma blachy zwińianej i spawane oraz śrubowane płyty stalowe. Na koniec same złącza śrubowe muszą być uszczelnione. Fermentatory stalowe zawsze buduje się w konstrukcji naziemnej. Zazwyczaj konstrukcja dachowa służy w nich jako magazyn gazu i pracuje na folii gazoszczelnej. Parametry znamionowe i właściwości zbiorników stalowych przedstawia tabela 3-25. Przykłady pokazuje ilustracja 3-34.

Tabela 3-25: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne stali do zbiorników w biogazowniach

Parametry znamionowe	• ocynkowana / emaliowana stal budowlana typu St 37 lub stal szlachetna typu V2A, w korozyjnym zbiorniku magazynowym gazu stal typu V4A
Kwalifikacja	• do wszystkich fermentatorów leżących i stojących oraz dołów
Zalety	+ możliwa prefabrykacja i krótki czas budowy + swoboda w zakresie sporządzania otworów
Wady	- niezbędny fundament można budować wyłącznie w sezonie bez mrozów - dla agregatów mieszających konieczna instalacja dodatkowych wsporników

Cechy szczególne

- powierzchnie betonowe nie zawsze pokryte substratem (zbiornik magazynowy gazu) wymagają szczególnego zabezpieczenia powłokami chroniącymi przed korozją kwasową albo trzeba zbudować je z lepszych jakościowo materiałów
- bezwzględnie konieczne zapewnienie gazoszczelności, zwłaszcza przyłączy w fundamencie i w dachu
- miejscowe władze często żądają zainstalowania systemu wrywania przecieków
- należy bezwzględnie unikać uszkodzeń powłok ochronnych w zbiornikach ze stali budowlanej



Ilustracja 3-34: Fermentatory ze stali szlachetnej w stadium budowy;
zdjęcie: Anlagen- i Apparatebau Lütke GmbH

Izolacja termiczna fermentatora

W celu zredukowania strat ciepła fermentatory muszą dodatkowo obudowywane materiałem termoizolacyjnym. Do termoizolacji można stosować dostępne w handlu materiały, które w zależności od zakresu stosowania (bliskość gruntu itd.) mają wykazywać się różnymi właściwościami (porównaj tabele 3-26). Przegląd odpowiednich parametrów można znaleźć w tabeli 3-27, która zawiera listę przykładowych materiałów izolacyjnych. Do ochrony przed warunkami pogodowymi materiał izolacyjny okłada się blachami trapezowymi lub drewnem.

Tabela 3-26: Parametry znamionowe materiałów izolacyjnych [3-12] [3-13]

Parametry znamionowe	• materiałny w fermentatorze lub pod powierzchnią gruntu: zamkniętoporowe materiały jak pianka sztywna PU i pianoszkło, które uniemożliwiają przenikanie wilgoci • materiał ponad powierzchnią gruntu: wełna mineralna, maty z włókna mineralnego, maty z pianki sztywnej, pianka ekstrudowana, styrodur, pianki z tworzyw sztucznych, polistyren
-----------------------------	--

Parametry znamionowe	- grubość materiału: używa się grubości 5-10 cm, działanie izolacyjne przy grubości poniżej 6 cm jest znikome; parametry praktyczne bazują raczej na doświadczeniach aniżeli wyliczeniach; w literaturze fachowej wzmiankuje się izolacje o grubościach nawet 20 cm - parametry k mieszczą się w zakresie 0,03 - 0,05 W/mK - wytrzymałość materiału izolacyjnego w strefie gruntowej musi sprostać całemu obciążeniu wywieranemu przez wypełniony fermenter
Formy konstrukcji	termoizolacja może być instalowana od wewnątrz bądź od zewnątrz, przy czym generalnie nie preferuje się żadnego z tych wariantów
Cechy szczególne	wszystkie materiały izolacyjne muszą być odporne na działalność gryzoni

Tabela 3-27: Parametry znamionowe materiałów izolacyjnych - przykłady

Materiał izolacyjny	Przewodność cieplna	Rodzaj zastosowania
materiały z włókna mineralnego ok. 40- 120 kg/m ³	0,030- 0,040	WV, WL, W, WD
plyty izolacyjne Perlite 150-210 kg/m ³	0,045 - 0,055	W,WD,WS
polistyrenowa pianka ekspandowana EPS 15 kg/m ³ < gęstość surowa	0,030 - 0,040	W
polistyrenowa pianka ekspandowana EPS 20 kg/m ³ < gęstość surowa	0,020 - 0,040	W, WD
polistyrenowa pianka ekstrudowana XPS 25 kg/m ³ < gęstość surowa	0,030 - 0,04	WD, W
poliuretanowa pianka sztywna PUR 30 kg/m ³ < gęstość surowa	0,020 - 0,035	WD, W, WS
pianoszkło	0,04 - 0,06	W, WD, WDS, WDH

Rodzaje zastosowań (oznaczenia): WV - wytrzymałość na zrywanie i ścinanie; WL, W - brak wytrzymałości na ściskanie; WD - wytrzymałość na ściskanie; WS (WDH)- podwyższona wytrzymałość na ściskanie do szczególnych zastosowań; W - brak wytrzymałości na ściskanie

Ogrzewanie fermentatora

W celu zapewnienia optymalnego procesu fermentacji we wnętrzu fermentatora musi panować równomierna temperatura. Nie chodzi tutaj o utrzymanie zadanej temperatury z dokładnością do dziesiątych części stopnia, lecz o utrzymanie wahań temperatury w jak najmniejszym przedziale. Dotyczy to zarówno czasowych wahań temperatury jak również rozdziału temperatur w różnych strefach fermentatora [3-3].

Silne wahania oraz przekraczanie bądź spadek poniżej określonych wartości temperatur mogą powodować przyhamowywanie a w najgorszym razie nawet całkowite obumarcie procesu gnilnego. Przyczyny prowadzące do wahań temperatur mogą być wielorakie:

- doprowadzenie świeżego substratu
- tworzenie się warstw lub stref termicznych z powodu niedostatecznego zaizolowania, nieefektywnego i źle zwymiarowanego ogrzewania, niedostatecznego przemieszczania materiału
- usytuowanie grzejników
- ekstremalne temperatury zewnętrzne latem i zimą
- awaria agregatu

Do przygotowania wymaganych temperatur procesowych i skompensowania strat ciepła substrat musi być ogrzewany, a to może odbywać się dzięki zewnętrznym lub wbudowanym we wnętrzu fermentera wymiennikom ciepła bądź instalacji grzewczej.

Instalacje grzewcze wbudowane w fermentatorze ogrzewają substrat fermentacyjny w jego wnętrzu. Tabela 3-28 przedstawia przegląd stosowanych technologii, ilustracja 3-25 pokazuje ich przykłady.



Ilustracja 3-35: Rury grzewcze ze stali szlachetnej ułożone fermentatorze (z lewej); zdjęcie: Anlagen- und Apparatebau Lütke GmbH, zabudowywanie rurowych przewodów grzewczych w ścianie fermentera (z prawej); zdjęcia z lewej i prawej: Biogas Nord GmbH; zdjęcie z prawej: PlanET Energietechnik

Tabela 3-28: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne wbudowanych instalacji grzewczych [3-1] [3-12]

Parametry znamionowe	• materiał: rury ze stali szlachetnej, VPC lub PEOC (tworzywa sztuczne tworzywa sztuczne z powodu niższego przewodnictwa cieplnego trzeba układać ciasno), jeśli w komorze gnilnej lub instaluje jako agregat mieszający; przy grzejnikach układanych w betonie stosuje się typowe rurociągi ogrzewania podłogowego
Kwalifikacja	• grzejniki ściennie: wszystkie typy fermentatorów betonowych • ogrzewanie podłogowe: wszystkie fermentatory stojące • grzejniki wewnętrzne: wszystkie typy fermentatorów, ale raczej spotykane w fermentatorach stojących

Kwalifikacja	grzejniki połączone z agregatami mieszającymi: wszystkie typy fermentatorów, ale raczej spotykane w fermentatorach leżących
Zalety	+ grzejniki ułożone wewnątrz fermentatora i zintegrowane z mieszadłami zapewniają dobre przenoszenie ciepła + grzejniki podłogowe i ściennie nie przyczyniają się do powstawania osadów + grzejniki wbudowane w agregaty mieszające mają bardzo dużą powierzchnię styczności z ogrzewanym materiałem
Wady	- złoże denne mogą znacznie pogarszać oddziaływanie ogrzewania podłogowego - grzejniki w komorze fermentera mogą przyczyniać się do powstawania osadów, dlatego trzeba je instalować w pewnej odległości od ścian - grzejniki podłogowe i ściennie zapewniają niewielkie przenoszenie ciepła
Cechy szczególne	- rury grzewcze muszą mieć możliwość odpowietrzania, dlatego medium grzejące przepływa w nich od dołu do góry - przewody grzewcze ułożone w betonie powodują naprężenia termiczne - instalacje układu się w dwóch lub trzech obwodach grzewczych - zależnie od wielkości fermentera - urządzenia grzewcze nie mogą zakłócać pracy innych agregatów (np. zgarniaczy) - grzejniki układane w ścianach lub podłodze fermentera nie nadają się do eksploatacji w procesie termofilowym
Formy konstrukcji	- grzejniki podłogowe - grzejniki wewnętrzne (w fermentatorach stalowych również możliwa instalacja na ścianie zewnętrznej) - grzejniki mocowane na ścianach - grzejniki wbudowane w agregaty mieszające lub połączone z nimi
Konserwacja	- dla zagwarantowania przenoszenia grzejniki muszą być regularnie oczyszczane - dostęp do grzejników wbudowanych w fermentatorze lub w budowlu jest bardzo zły lub wręcz niemożliwy - obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermentatorze

Zewnętrzne wymienniki ciepła ogrzewają substrat fermentacyjny jeszcze przed jego prowadzeniem do fermentatora, dzięki czemu trafia tam już wstępnie podgrzany. W ten sposób można zapobiegać wahaniom temperatur przy dodawaniu substratu. Przy zastosowaniu zewnętrznych wymienników ciepła albo trzeba zadbać o ciągłą recyrkulację substratu realizowaną przez wymienniki ciepła albo w ogóle nie można zrezygnować z

dotatkowego ogrzewania wewnętrznego w fermentatorze, jeśli ma być w nim zachowana stała temperatura. Właściwości zewnętrznych wymienników ciepła można znaleźć w tabeli 3-29.

Tabela 3-29: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne zewnętrznych wymienników ciepła [3-3] [3-12]

Parametry znamionowe	• materiał: z reguły jest to stal szlachetna • zdolności przepustowe wynikają ze zdolności produkcyjnych obiektu i temperatury procesowej • przekroje rur odpowiadają przekrojom typowych rurociągów do substratu w biogazowni
Kwalifikacja	• wszystkie typy fermentera, najczęstsze zastosowanie w fermenterach z przepływem tłokowym
Zalety	+ zdolność do zapewnienia bardzo dobrego przenoszenia ciepła + świeży materiał nie powoduje szoku temperaturowego w fermentatorze + instalacja grzewcza ma kontakt z całym wolumenem materiału + zewnętrzne wymienniki ciepła można łatwo oczyszczać i konserwować + dobra regulowalność temperatury
Wady	- w niektórych okolicznościach konieczne zaplanowanie dodatkowej instalacji grzewczej dla fermentatora - zewnętrzny wymiennik ciepła jest dodatkowym urządzeniem, a przez to dodatkowym źródłem kosztów
Cechy szczególne	• wymienniki ciepła muszą mieć opcję odpowietrzania, dlatego medium grzejące przepływa w nich od dołu do góry • nie nadają się do eksploatacji w procesie termofilowym
Formy konstrukcji	• przenośniki ciepła spiralne lub z rurami dwuściennymi
Konserwacja	• bardzo dobry dostęp przy czynnościach konserwacyjnych i czyszczących

Agregaty mieszające

Istnieje kilka istotnych powodów, dla których dobre przemieszanie musi być zapewnione:

- przemieszanie świeżego substratu z przefermentowanym, dzięki czemu świeży substrat zostaje zaszczipiony,
- równomierna dystrybucja ciepła i substancji odżywczych we wnętrzu fermentatora,
- zapobieganie tworzeniu się i niszczenie powstających kożuchów i złogów dennych,
- dobre wypędzanie biogazu z substratu fermentacyjnego.

Minimalne przemieszanie substratu fermentacyjnego odbywa się poprzez dodawanie substratu świeżego, termiczne prądy konwekcyjne i wznoszenie pęcherzy gazu. Jednak to pasywne przemieszanie nie wystarcza na tyle, żeby odbywać się bez aktywnego wspomaganie procesu przemieszczania się materiału.

Proces przemieszczania mogą przeprowadzać takie urządzenia mechaniczne w zbiorniku gnilnych, jak np. mieszadła, pompy hydrauliczne umieszczone na zewnątrz fermentatora lub urządzenia pneumatyczne wdmuchujące biogaz do fermentatora.

Dwie ostatnie spośród wyżej wspomnianych możliwości odgrywają tu raczej podrzędną rolę. W Niemczech urządzenia mechaniczne bądź mieszadła stosuje się stosuje się w około 85 do 90 % wszystkich obiektów [3-1].

Przemieszanie mechaniczne

Przemieszanie mechaniczne substratu fermentacyjnego odbywa się poprzez zastosowanie mieszadeł, w których można wyróżniać następujące podtypy:

- mieszadła szybkobieżne i działające intensywnie,
- mieszadła średniobieżne,
- mieszadła wolnobieżne.

Mieszadła pracują w trybie ciągłym lub interwałowym. W praktyce okazało się, że interwały w procesie mieszania trzeba empirycznie optymalizować według specyficznych właściwości każdej biogazowni, czyli według właściwości substratów, wielkości zbiorników, skłonności do tworzenia kożuchów itd.. Po uruchomieniu całej instalacji ze względów bezpieczeństwa mieszanie trwa dłużej i z większą częstotliwością. Zebrane doświadczenia wykorzystuje się potem do optymalizacji trwania i częstotliwości interwałów jak również do nastawiania mieszadeł. Zastosowanie mogą znajdować różne typy mieszadeł.

W stojących, działających na zasadzie mieszalnika fermenterach często instaluje się Mieszadła śmigłowe z silnikiem zanurzonym (tzw. TMR). Te TMR-y są napędzane bezprzekładniowymi silnikami elektrycznymi z obudowami otulonymi wodoszczelnym płaszczem ciśnienio- i korozjoodpornym a dzięki temu chłodzonymi przez omywające je medium [3-1]. Mieszadła te są kompletnie zanurzone w substracie najczęściej i posiadają geometrycznie zoptymalizowane dwu- lub trzyłopatowe śmigła. Dzięki swojemu systemowi rur prowadzących składającemu się z żurawika, kołowrotu linowego i profilu prowadzącego mieszadła można, najczęściej z zewnątrz, pozycjonować w pionie, poziomie oraz w ich nachyleniu. Dane nt. zastosowania oraz przykładową wizualizację przedstawia tabela 3-30 oraz ilustracja 3-36.

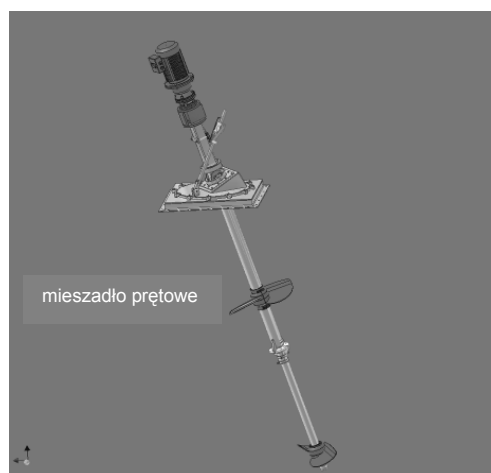
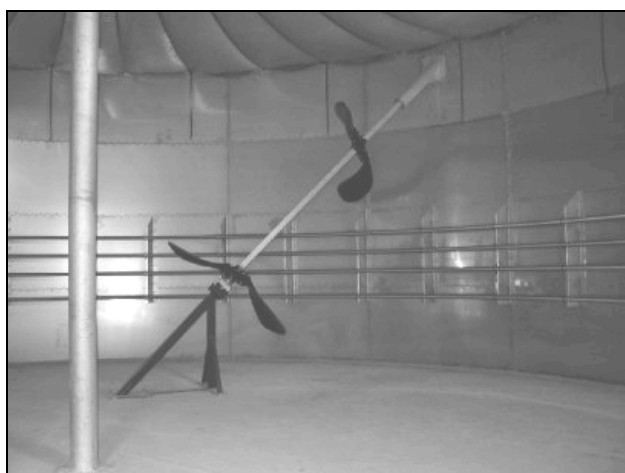
Tabela 3-30: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne von mieszadła śmigłowych z silnikiem zanurzonym [3-2]

Parametry znamionowe	• mieszadła szybkobieżne eksploatacji interwałowej (300-1500 obr/min) • zapotrzebowanie mocy: ok. 10 kW na 1000 m³ wolumenu fermenter przy naprawdę dobrze upłynnionych substratach; zależne od lepkości substratu i geometrii fermentera • dostępne zakresy mocy: 0,25-35 kW • czas pracy zależny od substratu, trzeba ustalić w fazie rozruchowej • w dużych fermenterach często instaluje się dwa mieszadła • materiał: korozjoodporny, najczęściej stal szlachetna
Kwalifikacja	• do wszystkich substratów w fermentacji mokrej, najczęściej w fermentatorach stojących • fermentacja mezofilowa
Zalety	+ można uzyskać bardzo dobre przemieszanie w fermentatorze + ze względu na bardzo dobrą ruchliwość możliwe jest ukierunkowane dotarcie do wszystkich stref fermentatora podczas przemieszania + bardzo dobra możliwość niszczenia kożuchów i złogów dennych
Wady	- wysoki nakład energetyczny przy każdym włączeniu w celu rozruszania zawartości fermentatora - z ww. powodów niezbędna wysoka wydajność agregatów - szyny prowadzące to liczne części ruchome w fermenterze - z powodu przemieszania przy pracy w trybie interwałowym możliwe sedymantowanie i flotowanie się - do prac konserwacyjnych konieczne są otwory w fermentatorze
Cechy szczególne	• przejścia rur prowadzących przez pokrycie fermentatora muszą być gazoszczelne • sterowanie interwałowe np. przez zegary sterujące • obudowy silników muszą być absolutnie płynoszczelne • chłodzenie silnika musi być zapewnione również przy wysokich temperaturach fermentatora • po części zaleca się instalację automatycznego wykrywania przecieków w obudowie silnikowej
Formy konstrukcji	• zanurzalne bezprzekładniowe silniki elektryczne ze śmigłami, częściowo także z przekładniami jednostopniowymi
Konserwacja	• po części utrudniona przez konieczność wyciągania silnika z fermentatora • fermentator musi mieć otwory pozwalające na prace konserwacyjne i wyciąganie • obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermentatorze



Ilustracja 3-36: Mieszadło śmigłowe z silnikiem zanurzonym (z lewej) i system rur prowadzących (z prawej); zdjęcia: Agrartechnik Lothar Becker

Alternatywne rozwiązanie stanowią *mieszadła prętowe*, gdzie silnik napędowy jest osadzony na końcówce wału mieszadła, które montuje się ukośnie do fermentatora. Sam silnik znajduje się już na zewnątrz fermentatora, natomiast przejście wału mieszadła znajduje się na pokrywie fermentatora, a w fermentatorach nakrytych dachami foliowymi silnik instaluje się w górnej strefie ściany i hermetycznie zabudowuje. Wały mieszadeł można dodatkowo umiejscawiać na dnie fermentatora, a wtedy są one wyposażone w jedno lub kilka wielkopowierzchniowych łopatkowych elementów mieszających. Tabela 3-31 przedstawia parametry znamionowe mieszadeł prętowych, przykłady rozwiązań pokazuje ilustracja 3-37.



Ilustracja 3-37: Mieszadła prętowe z dwoma narzędziami mieszającymi z i bez zamocowania na dnie fermentera; zdjęcie: WELtec BioPower GmbH; Grafik: Armatec FTS-Armaturen GmbH & Co. KG

Tabela 3-31: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne mieszadeł prętowych

Parametry znamionowe	• średniobieżne (100-300 obr/min) lub wolnobieżne (10-50 obr/min) mieszadła pracujące w trybie interwałowym lub ciągłym • zapotrzebowanie mocy: ok. 10 kW na 1000 m³ objętości fermentera przy naprawdę płynnych substratach i w pracy interwałowej; zależnie od lepkości substrat i geometrii fermentera; w trybie ciągłym niewielkie zużycie energii: • dostępne zakresy mocy: 2-30 kW • czas pracy i liczba obrotów zależne od substratu, trzeba ustalić w fazie rozruchowej • materiał: korozjoodporny, najczęściej stal szlachetna
Kwalifikacja	• wszystkie substraty w fermentacji mokrej, tylko w fermenterach stojących
Zalety	+ można uzyskać bardzo dobre przemieszanie w fermenterze + bardzo mało części ruchomych w fermenterze + znajdujący się na zewnątrz fermentera napęd jest łatwy w konserwacji + przy pracy w trybie ciągłym zjawiska sedymentowanie i flotowanie się
Wady	- możliwe niepełne przemieszanie materiału z powodu stacjonarnego typu zabudowy - wskutek ww. możliwość powstawania stref kożuchów i złogów dennych - przy pracy w trybie interwałowym wysoki nakład energetyczny przy każdym włączeniu w celu rozruszania zawartości fermentera; dlatego niezbędna jest wysoka wydajność agregatów - przy przemieszaniu w trybie interwałowym możliwe sedymentowanie i flotowanie się - przy silnikach osadzanych na zewnątrz możliwe problemy z powodu odgłosów pracy silników i przekładni
Cechy szczególne	• przejścia osi mieszadeł muszą być gazoszczelne • sterowanie interwałowe np. przez zegary sterujące • możliwa regulacja obrotów przetwornikami częstotliwości
Formy konstrukcji	• silniki zewnętrzne z przekładniami, wewnętrzna oś mieszadła z jednym lub wieloma śmigłami i ewent. z narzędziami rozdrabniającymi (patrz rozdział Rozdrabnianie) • częściowo trafiają się rozwiązania z końcem osi umocowanym na dnie, wersje pływające lub przestawne w poziomie • możliwe przyłączenie wału przekaznika mocy z ciągnika
Konserwacja	• nieskomplikowana konserwacja silnika, i to bez przerw w procesie technologicznym, możliwa dzięki montażowi na zewnątrz fermentera

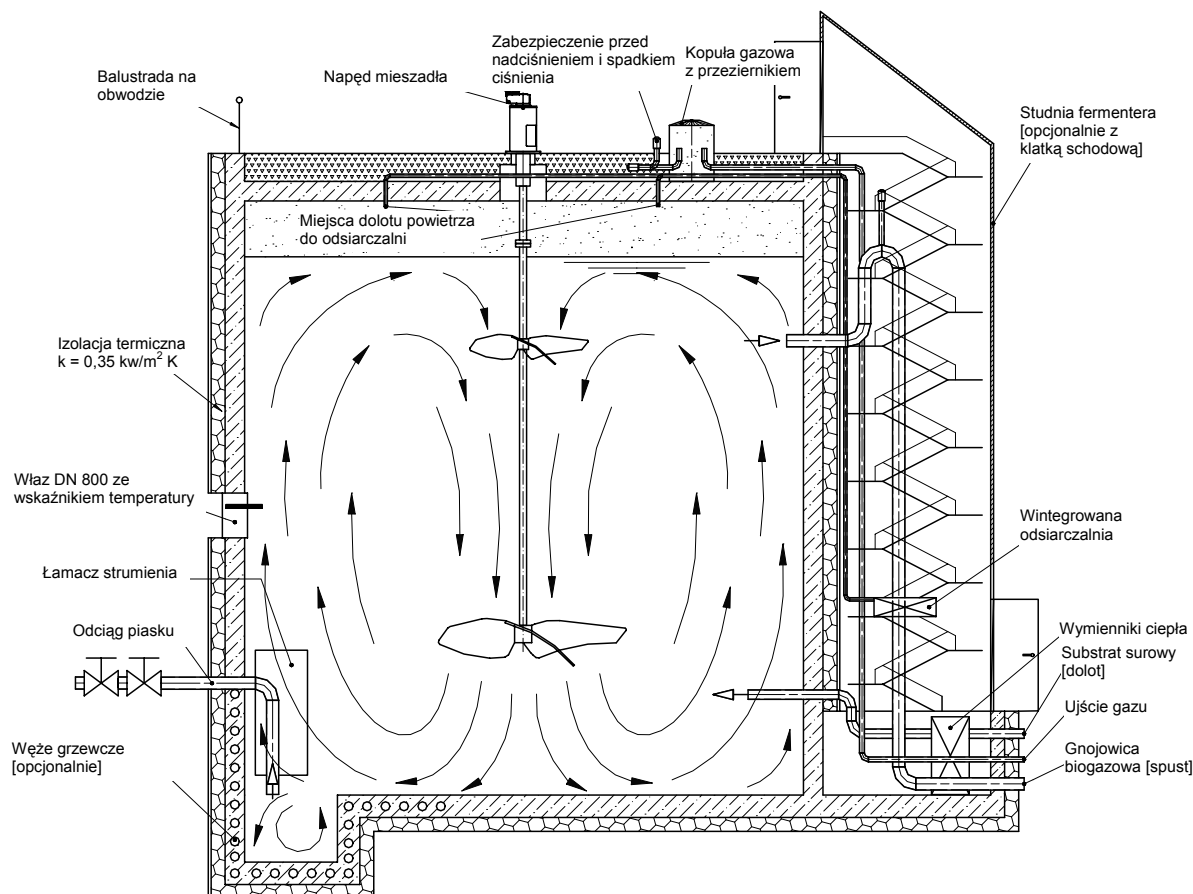
Konserwacja	• naprawa łopat śmigieł i osi utrudniona przez konieczność wyciągania ich z fermentera albo przez konieczność spuszczenia gazu z kopuły zadaszającej fermenter • fermenter musi mieć otwory pozwalające na prace konserwacyjne • obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermentatorze
--------------------	--

Kolejną możliwość mechanicznego przemieszania zawartości fermentera oferują *mieszadła osiowe*, które są używane w biogazowniach duńskich w trybie ciągłym. Są one najczęściej montowane na wałach mieszadeł sytuowanych centrycznie pod pułapem fermentatora. Prędkość silnika napędowego znajdującego się na zewnątrz fermentera jest redukowana przez przekładnię do kilku obrotów na minutę. Zadaniem tych mieszadeł jest stałe wytwarzanie prądu przepływowego we wnętrzu fermentera, skierowanego w dół a zawracającego do góry przy ścianach. Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne mieszadeł osiowych przedstawia tabela 3-32, a przykład pokazuje ilustracja 3-38.

Tabela 3-32: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne mieszadeł osiowych dla biogazowni

Parametry znamionowe	• wolnobieżne mieszadła pracujące w trybie ciągłym • dostępne zakresy mocy: do 25 kW i 22 m średnicy w ofercie • liczba obrotów zależna od substratu, trzeba ustalić w fazie rozruchowej • materiał: korozjoodporny, najczęściej stal szlachetna • zapotrzebowanie mocy: np. 5,5 kW przy 3000 m³, najczęściej jeszcze więcej
Kwalifikacja	• wszystkie substraty w fermentacji mokrej, tylko w większych fermenterach stojących
Zalety	+ można uzyskać bardzo dobre przemieszanie w fermentatorze + bardzo mało części ruchomych w fermentatorze + znajdujący się na zewnątrz fermentatora napęd jest łatwy w konserwacji + niewielkie kożuchy można odessać na dół + daleko idące zapobieganie pojawiającym się ciągle zjawiskom sedymentowania i flotowania się
Wady	- możliwe niepełne przemieszanie materiału z powodu stacjonarnego typu zabudowy - wskutek ww. możliwość powstawania stref kożuchów i złogów dennych, szczególna skłonność występuje w strefach skrajnych fermentatora
Cechy szczególne	• przejścia osi mieszadeł muszą być gazoszczelne • możliwa regulacja obrotów przetwornikami częstotliwości

Formy konstrukcji	• zewnętrzne silniki elektryczne z przekładniami, wewnętrzna oś mieszadła z jednym lub wieloma śmigłami bądź łopatkami, jako mieszadła stojące lub wiszące • montaż śmigieł może nastąpić w rurze prowadzącej dla wytworzenia przepływu • możliwe usytuowanie decentryczne
Konserwacja	• nieskomplikowana konserwacja silnika, i to bez przerw w procesie technologicznym, możliwa dzięki montażowi na zewnątrz fermentatora • naprawa łopat śmigieł i osi utrudniona przez konieczność wyciągania ich z fermentatora albo przez konieczność spuszczenia gazu z kopuły zadaszającej fermentator • fermenter musi mieć otwory pozwalające na prace konserwacyjne • obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermentatorze



Ilustracja 3-38: Mieszadło osiowe, rysunek: ENTEC Environmental Technology Umwelttechnik GmbH

Mieszadła łopatkowe lub płytowe są urządzeniami wolnobieżnymi, ze względu na swoją konstrukcję najczęściej stosowanymi w fermentatorach *leżących*, które pracują na zasadzie przepływu tłokowego. Na poziomej osi mieszadła są zamocowane łapy realizujące proces przemieszania. Ich działanie mieszające ma tu powodować wyłącznie pionowe przemieszanie substratu. Z kolei poziomy przepływ tłokowy jest zapewniany przez doprowadzanie porcji materiału do fermentatora. W wałach pędniących jak i w ramionach mieszających mieszadeł często wbudowuje się węzownice grzewcze (por. ilustracja 3-31), którymi ogrzewa się substrat fermentacyjny. Mieszadła tego typu uruchamia się kilka razy dziennie na krótki czas i przy niewielkiej liczbie obrotów. Parametry znamionowe zawiera tabela 3-33.

Tabela 3-33: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne mieszadeł łopatkowych/ płytowych w fermenterach leżących

Parametry znamionowe	• wolnobieżne mieszadła przy pracy w trybie interwałowym • zapotrzebowanie mocy: silnie uzależnione od indywidualnej lokalizacji i substratu; znacznie wyższe w fermentacji suchej z powodu dużego oporu stawianego przez substrat • liczba obrotów od substratu, trzeba ustalić w fazie rozruchowej • materiał: korozjoodporna, najczęściej stal szlachetna
Kwalifikacja	• wszystkie substraty w fermentacji mokrej i suchej, tylko w fermenterach leżących
Zalety	+ można uzyskać bardzo dobre przemieszanie w fermenterze + mimo w/w zapewniony jest przepływ tłokowy + znajdujący się na zewnątrz fermentera napęd jest łatwy w konserwacji, wału przekładnika mocy z ciągnika także możliwe + daleko idące zapobieganie pojawiającym się ciągle zjawiskom sedymentowania i flotacji
Wady	- fermenter trzeba opróżniać na czas robót konserwacyjnych przy łopatkach, w razie awarii w fermentacji suchej konieczne jest ręczne opróżnienie całego fermentatora
Cechy szczególne	• przejścia osi mieszadeł muszą być gazoszczelne • możliwa regulacja obrotów przetwornikami częstotliwości
Formy konstrukcji	• zewnętrzne silniki elektryczne z przekładnikami, wewnętrzna oś mieszadła z wieloma łopatkami, po części montaż rur wymiennika ciepła jako dodatkowe agregaty mieszające na osi bądź jako jeden zespół razem z łopatkami
Konserwacja	• nieskomplikowana konserwacja silnika, i to bez przerw w procesie technologicznym, możliwa dzięki montażowi na zewnątrz fermentatora • naprawa łopatek i osi utrudniona przez konieczność spuszczenia gazu z kopuły zadaszającej fermentator

Konserwacja

- fermenter musi mieć otwory pozwalające na prace konserwacyjne
- obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermentatorze

Mieszadła łopatkowe lub płytowe mogą być instalowane również w fermenterach stojących. Przykład pokazuje ilustracja 3-39 Właściwości można znaleźć w tabeli 3-34.



Ilustracja 3-39: Mieszadło łopatkowe;
Zdjęcie: PlanET
Energietechnik

Tabela 3-34: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne mieszadeł łopatkowych/ płytowych w fermentatorach stojących

Parametry znamionowe	• wolnobieżne mieszadła przy pracy w trybie interwałowym • zapotrzebowanie mocy: silnie uzależnione od indywidualnej lokalizacji i substratu • liczba obrotów od substratu, trzeba ustalić w fazie rozruchowej • materiał: korozjoodporna, najczęściej stal szlachetna
Kwalifikacja	• wszystkie substraty w fermentacji mokrej
Zalety	+ znajdujący się na zewnątrz fermentatora napęd jest łatwy w konserwacji
Wady	- fermentator trzeba opróżniać na czas robót konserwacyjnych przy łopatkach, w razie awarii w fermentacji suchej konieczne jest ręczne opróżnienie całego fermentatora - możliwe niepełne przemieszanie materiału z powodu stacjonarnego typu zabudowy
Cechy szczególne	• przejścia osi mieszadeł muszą być gazoszczelne • możliwa regulacja obrotów przetwornikami częstotliwości
Formy konstrukcji	• zewnętrzne silniki elektryczne z przekładniami, wewnętrzna oś mieszadła z wieloma łopatkami

Konserwacja	• nieskomplikowana konserwacja silnika, i to bez przerw w procesie technologicznym, możliwa dzięki montażowi na zewnątrz fermentatora • naprawa łopatek i osi utrudniona przez konieczność spuszczenia gazu z kopuły zadaszającej fermentator • fermentator musi mieć otwory pozwalające na prace konserwacyjne • obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermentatorze
--------------------	--

Przemieszczanie pneumatyczne

Pneumatyczne przemieszczanie substratu fermentacyjnego jest wprawdzie oferowane przez kilku producentów, niemniej przy biogazowniach rolniczych ich rola jest drugorzędna.

Przy przemieszczaniu pneumatycznym biogaz jest wdmuchiwany do fermentera przez jego dno, przez co unoszące się do góry pęcherze gazu wywołują pionowy ruch a tym samym przemieszczanie substratu.

Systemy te mają taką zaletę, że niezbędne do procesu przemieszczania części mechaniczne (pompy i zagęszczacze) są zamontowane na zewnątrz fermentatora i przez to ulegają mniejszemu zużyciu. Techniki te nie nadają się do niszczenia kożuchów, toteż mogą być stosowane tylko do substratów rzadkopłynnych o niewielkiej skłonności do tworzenia kożuchów. Parametry znamionowe systemów do przemieszczania pneumatycznego zawiera tabela 3-35.

Tabela 3-35: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne systemu pneumatycznego przemieszczania fermentera

Parametry znamionowe	• zapotrzebowanie mocy: np. zagęszczacz 15 kW dla fermentera 1400 m³, eksploatacja w trybie quasi-ciągłym • dostępne zakresy mocy: od 0,5 kW, możliwe wszystkie zakresy dla biogazowni
Kwalifikacja	• bardzo rzadkopłynne substraty z niewielką skłonnością do kożuchowania
Zalety	+ można uzyskać bardzo dobre przemieszczanie w fermenterze + lokalizacja zagęszczaczy gazu na zewnątrz fermentatora ułatwia konserwację + zapobieganie tworzeniu się złożeń dennych
Wady	- konieczność opróżniania fermentatora podczas konserwacji urządzeń biogazowych
Cechy szczególne	• technika zagęszczania musi być odpowiednia do składu chemicznego biogazu
Formy konstrukcji	• równomierne rozmieszczenie dysz na całym dnie fermentera zasada pomp mamutowych włączania gazu do pionowej rury prowadzącej

Formy konstrukcji	• stosuje się kombinacje z hydrauliczną albo mechaniczną techniką przemieszania
Konserwacja	• nieskomplikowana konserwacja zagęszczacza gazu, i to bez przerw w procesie technologicznym, możliwa dzięki montażowi na zewnątrz fermentera • utrudniona naprawa podzespołów wtłaczania biogazu ze względu na konieczność spuszczenia gazu z kopuły zadaszającej fermenter • obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermentatorze

Przemieszanie hydrauliczne

Przy przemieszczaniu hydraulicznego substratu fermentacyjny jest wtłaczany do fermentatora pompami przez przestawne dysze mieszające w płaszczyźnie poziomej lub dodatkowo w płaszczyźnie pionowej. Odsysanie i wprowadzanie substratu fermentacyjnego do obiegu musi następować w taki sposób, żeby w miarę możliwości cała zawartość fermentera została całkowicie przemieszczana.

Systemy do przemieszczania hydraulicznego mają również tę zaletę, że elementy mechaniczne niezbędne do procesu przemieszczania znajdują się na zewnątrz fermentatora, a przez to ulegają mniejszemu zużyciu i dają się łatwo konserwować. System przemieszczania hydraulicznego nadaje się do rozbijania kożuchów w bardzo wąskim zakresie, dlatego może być stosowany tylko do substratów rzadko płynnych o niewielkiej skłonności do tworzenia kożuchów. Do oceny techniki pompowej należy przestudiować dane z rozdziału 3.2.1.4 Transportowanie i wprowadzanie wsadu substratu. Tabela 3-36 zawiera przegląd parametrów znamionowych i parametrów eksploatacyjnych systemów przemieszczania hydraulicznego.

Tabela 3-36: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne hydraulicznego systemu przemieszczania fermentatora

Parametry znamionowe	• użycie pomp o wysokiej mocy tłoczenia • dane wydajnościowe: odpowiadają typowym osiągom pomp z rozdziału 3.2.1.4 • materiał: tak jak przy pompach
Kwalifikacja	• wszystkie łatwo pompowalne substraty w fermentacji mokrej
Zalety	+ można osiągnąć dobre przemieszczanie wsadu w fermenterze przy pomocy przestawnych zanurzalnych pomp wirnikowych lub rur prowadzących, a tym samym można niszczyć złoże denne kożuchy
Wady	- przy pompach zewnętrznych bez docelowego ukierunkowania przepływu możliwe powstawanie złożeń dennych i kożuchów - nie da się zapobiegać powstawaniu złożeń dennych i kożuchów przy pompach zewnętrznych bez docelowego ukierunkowania przepływu

Cechy szczególne	• cechy agregatów - patrz rozdział 3.2.1.4
Formy konstrukcji	• zanurzalne pompy wirnikowe lub pracujące w środowisku suchym pompy wirnikowe, pompy śrubowe jednowirnikowe lub pompy z tłokiem obrotowym, patrz rozdział 3.2.1.4 • przy pompach zewnętrznych miejsca wlotowe można zaopatrzyć w ruchome rury prowadzące lub dysze; możliwe repositionowanie różnych wlotów
Konserwacja	• obowiązują takie same specyficzne dla danych agregatów informacje konserwacyjne jak w rozdziale 3.2.1.4

Usuwanie sedimentów z fermentatora

Sedymenty bądź złogi denne tworzą się wskutek osiadania takich materiałów ciężkich jak na przykład piasku w fermentacji mokrej. W celu oddzielenie od materiałów ciężkich w zbiorniku wstępnym instaluje się zgarniacze osadów, aczkolwiek piasek, występujący np. w odchodach drobiowych, jest bardzo mocno związany z materią organiczną, toteż w zbiorniku wstępnym najczęściej udaje się oddzielić tylko kamienie i inne materiały gruboziarniste. Większość piasku uwalnia się dopiero podczas biologicznego procesu rozkładu już w fermentatorze.

Określone substraty, np. gnojowica świńska lub łajno drobiowe, mogą wspomagać tworzenie się takich warstw osadowych. Z upływem czasu złogi denne mogą osiągać bardzo dużą grubość, a przez to zmniejszać pojemność czynną fermentatora. Zdarzało się już, że fermentery zapełniały się piaskiem nawet do połowy. Poza tym złogi denne mogą stwardnieć tak mocno, że ich usuwanie staje się możliwe dopiero przy użyciu łopat lub koparek. Usuwanie zlogów dennych z fermentatora jest możliwe przy zastosowaniu zgarniaczy dennych lub poprzez spust denny. Przy intensywnym powstawaniu zlogów dennych funkcjonalność systemów usuwania sedimentów nie zawsze zdaje egzamin, stąd też może zaistnieć konieczność otwarcia fermentatora, aby narosłe złogi denne usunąć ręcznie lub maszynowo. Sprawdzone techniki usuwania sedimentów przedstawia tabela 3-37. Natomiast przy bardzo wysokich fermentatorach - ponad 10 m wysokości - do usuwania osadów piaskowych, wapiennych bądź szlamu może wystarczyć samo ciśnienie hydrostatyczne.

Tabela 3-37: Technika von systemów usuwania sedimentów

Parametry znamionowe	• Parametry znamionowe agregatów stosowanych dla systemów usuwania sedimentów są zgodne z parametrami poszczególnych agregatów przedstawionych w poprzednich opisach
Kwalifikacja	• zgarniacze denne tylko w fermentatorach stojących z podłogami o okrągłej i płaskiej powierzchni • ślimaki wygarniające w fermentatorach leżących i stojących • lejowate podłogi w fermentatorach stojących

Cechy szczególne	• Cechy szczególne agregatów stosowanych dla systemów usuwania sedymentów są zgodne z parametrami poszczególnych agregatów przedstawionych w poprzednich opisach • przejścia przez ścianę fermentatora dla ślimaków wygarniających muszą być płynoszczelne lub gazoszczelne • usuwaniu osadów mogą towarzyszyć silne emisje zapachów • w fermentatorze musi być zainstalowana odwadniająca studzienka zbiorcza lub coś podobnego dla ślimaków wygarniających
Formy konstrukcji	• zgarniacze denne z napędem zewnętrznym do przenoszenia złogów dennych na zewnątrz • zgarniacze ślimakowe na dnie fermentera • stożkowane dno fermentera z pompą upustową i urządzenie do spulchniania złogów dennych lub urządzenie płuckowe
Konserwacja	• konserwacja przy systemach zainstalowanych na stałe wymaga spuszczenia zawartości fermentera, stąd też korzystne są napędy osadzane na zewnątrz lub agregaty wyjmowane • obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermenterze

Łapacz piany

W zależności od zastosowanego substratu bądź składu substratu w fermentatorze podczas fermentacji mokrej może dojść do powstawania piany. Z kolei piana taka może zatykać przewody odbiorcze biogazu, stąd też odpływ tego gazu w powinien znajdować się jak najwyżej w komorze fermentatora. Dodatkowe łapacze piany mają za zadanie zapobiegać wdzieraniu się piany do przewodów transportujących substrat do kolejnych fermentatorów w układzie lub do basenów magazynowych. Poza tym w zbiorniku magazynowy gazu fermentatora powinien być zainstalowany czujnik piany, który włączy alarm w razie nadmiernego tworzenia się piany. W dalszej kolejności przy zbyt silnym pienieniu istnieje możliwość wtryskiwania środków antypiennych do fermentatora, ale to wymaga dodatkowego zainstalowania odpowiedniego urządzenia w fermentatorze.

Usuwanie przefermentowanego materiału

Przy fermentatorach leżących materiał poprocesowy wskutek przepływu tłokowego wywoływano dodawanym do fermentatora substratem wydostaje się przez przelew albo zostaje odprowadzony przez rurę odpływową położoną poniżej lustra substratu. Fermentatory stojące są normalnie wyposażone w przelew działający na zasadzie syfonu, aby nie dopuszczać do ucieczki gazu. Przefermentowany substrat może być również odciągany za pomocą pomp.

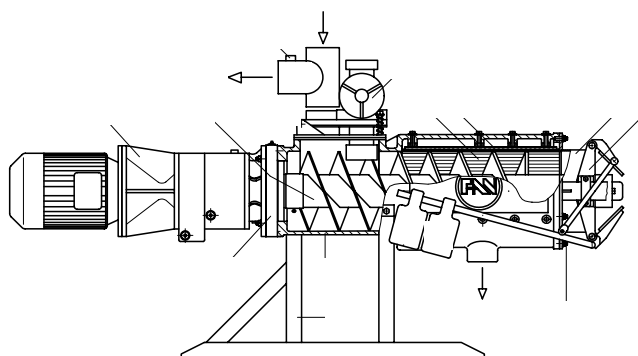
3.2.2.3 Oddzielanie frakcji płynnej od stałej

Ze wzrostem udziału substratów składowanych luzem w procesie uzyskiwania biogazu trzeba zwracać uwagę na pochodzenie cieczy do zacieru i na pojemność zbiornika odpadów pofermentacyjnych. Taki zbiorniki składowy często planuje się dla powstającej gnojowicy, jednak nie jest on w stanie przyjmować dodatkowych substratów po przefermentowaniu. Stąd też dla takiego przypadku sensownym rozwiązaniem technologicznym i ekonomicznym może być oddzielanie frakcji płynnej od stałej. Woda prasowana może być ponownie wykorzystywana jako woda do zacierania albo jako nawóz płynny, zaś frakcja stała w niewielkiej objętości daje się składować albo kompostować.

Do oddzielania frakcji płynnej od stałej można stosować taśmowe prasy filtracyjne, wirówki lub separatory śrubowe czy ślimakowe. Ze względu na przewagę stosowania separatorów ich parametry znamionowe przedstawia tabela 3-38. Rysunek przekrojowy i przykład zastosowania separatora pokazuje ilustracja 3-40.

Tabela 3-38: Technika separatorów ślimakowych

Parametry znamionowe	• substraty o zawartości substancji suchej <1% do ok. 20 % substancji suchej • produkt: do ponad 40 % substancji suchej • osiągi: na przykład przy 5,5 kW i ok. 35 m³/h wsadu wejściowego z 5 na 25 % substancji suchej
Kwalifikacja	• do substratów pompowalnych, które mogą być transportowane w przenośnikach ślimakowych
Cechy szczególne	• opcje dodatkowe jak na przykład oscylatory mogą poprawiać efektywność odwadniania • możliwa eksploatacja całkowicie automatyczna
Formy konstrukcji	• agregat wolnostojący • możliwa instalacja w ciągu technologicznym przed biogazownią przy obiektach o bardzo krótkim czasie przetrzymania; tym samym możliwe zaoszczędzenie na planowaniu mieszadeł i unikanie awarii uwarunkowanych frakcjami stałymi, możliwe powstawanie złożeń dennych i kożuchów • instalacja po fermentacji w celu zawracania wody do zacierania i oszczędności na mieszadłach w zbiorniku odpadów pofermentacyjnych
Konserwacja	• dobrze dostępny agregat, możliwe prace konserwacyjne bez przerywania całego procesu technologicznego



Ilustracja 3-40: Separator ślimakowy; rysunek: FAN Separator GmbH; zdjęcie: PlanET Energietechnik

3.2.2.4 Monitoring i sterowanie technologicznym procesem uzyskiwania biogazu

Ze względu na ścisłe powiązania elementów tego złożonego systemu biogazowni funkcja monitoringu i sterowania całą instalacją jest sprawowana centralnie. Z tego też powodu monitoring i sterowanie technologicznym procesem uzyskiwania biogazu zostało omówione wspólnie z innymi agregatami w rozdziale 3.2.5.

3.2.3 Składowanie przefermentowanego substratu

Przefermentowany substrat (resztki pofermentacyjne, gnojowica biogazowa) przedostają się z fermentera do zbiornika odpadów pofermentacyjnych. Tam substrat jest składowany tymczasowo do czasu wywózki na i wychładzany, co w zależności od pory roku musi potrwać nawet do pół roku i dlatego musi być odpowiednio ułożony. W charakterze zbiornika odpadów pofermentacyjnych można użyć wszystkich starych zbiorników bądź basenów na gnojowicę albo też można zbudować nowe. Pojemność magazynowa tych składow powinna być obliczona w taki sposób, żeby wystarczyła na przeczekanie okresów, w których uzależniona od warunków pogodowych wywózka materiałów pofermentacyjnych na grunty rolne nie jest możliwa. Wymiarowanie jest tutaj uzależnione od prowadzenia procesu technologicznego i zastosowanych substratów. Najczęściej używane są okrągłe zbiorniki stojące. Konstrukcja i zainstalowana technika w daleko idącym zakresie odpowiada podstawowej strukturze fermenterów (patrz rozdział 3.2.2.2). Niemniej w tym przypadku często rezygnuje się z techniki mieszania, wygarniania piasku, ogrzewania oraz izolacji termicznej.

Jako że zawarta w substracie fermentacyjnym materia organiczna nie ulega 100%-emu rozkładowi w komorze fermentera, to procesy gnilne odbywają się również podczas składowania odpadów pofermentacyjnych. Jeżeli zbiornik odpadów pofermentacyjnych jest zamknięty gazoszczelnym przykryciem, to powstający przy tym biogaz może być wychwytywany. W tym przypadku zbiornik odpadów pofermentacyjnych funkcjonuje jako zbiornik do dofermentowania. Udział dodatkowo uzyskiwanego tutaj biogazu może wynosić nawet do 20 % produkcji całkowitej. Oprócz dodatkowego uzyskiwania gazu można tu jeszcze zmniejszyć emisje zapachowe.

I właśnie z tych powodów należałoby preferować stosowanie zakrytych zbiorników odpadów pofermentacyjnych zamiast zbiorników otwartych [3-3].

3.2.4 Magazynowanie uzyskanego biogazu

Biogaz jest wytwarzany w nierównomiernych ilościach i po części w okresach z wydajnością szczytową. Z tego powodu i ze względu na jak najdalej idącą stałą ilość użyteczną biogaz musi być tymczasowo magazynowany w stosownych zbiornikach. Zbiorniki magazynowe muszą być gazoszczelne, odporne na ciśnienie, media, promieniowanie UV, temperaturę i warunki pogodowe. Przed rozruchem zbiorniki magazynowe trzeba poddać próbie szczelności. Ze względów bezpieczeństwa zbiorniki magazynowe muszą być wyposażone w zabezpieczenia przez nadciśnieniem i spadkiem ciśnienia, aby zapobiegać niedopuszczalnie wysokim zmianom ciśnienia wewnętrznego w zbiorniku. Dalsze wymagania i przepisy bezpieczeństwa zawierają „Reguły bezpieczeństwa dla biogazowni rolniczych”. Magazyny gazu powinny być zaprojektowane w taki sposób, żeby ok. jedna czwarta produkcji dziennej biogazu mogła być w nich zmagazynowana, dlatego często zaleca się tutaj wolumen odpowiadający od jednej do dwóch produkcji dziennych. Wyróżnia się nisko-, średnio- i wysokociśnieniowe zbiorniki magazynowe.

Niskociśnieniowe zbiorniki magazynowe

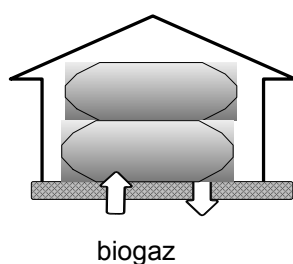
Najczęściej używanymi są zbiorniki niskociśnieniowe o zakresie nadciśnienia od 0,05 do 0,5 mbar. Zbiorniki niskociśnieniowe składają się z folii, które muszą sprostać wymaganiom bezpieczeństwa. Magazyny foliowe instaluje się na fermenterze jako zewnętrzne magazyny gazu albo jako kopuły gazowe.

Zewnętrzne zbiorniki niskociśnieniowe mogą być wykonywane w formie poduszek foliowych. Te poduszki foliowe dla ochrony przed warunkami pogodowymi lokuje się w odpowiednich budynkach albo przykrywa drugą powłoką foliową (patrz ilustracja 3-41). Specyfikacje zewnętrznych magazynów gazu przedstawia tabela 3-39.

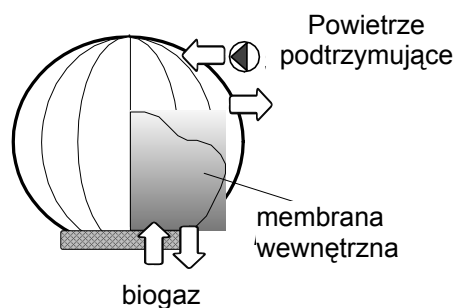
Tabela 3-39: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne zewnętrznych magazynów biogazu, dane częściowo z [3-3]

Parametry znamionowe	• możliwa dostawa zbiornika magazynowego gazu o pojemności do 2000 m³ • nadciśnienie: 0-100 mbar • przepuszczalność folii: trzeba liczyć się ze stratami biogazu rzędu 1-5 %o dziennie • materiały: PVC (niezbyt żywotne), kauczuk butylowy, mieszanka polietylenowo-polipropylenowa
Kwalifikacja	• dla wszystkich biogazowni

Zalety	+ stężenie metanu w aktualnie wytwarzanym biogazie może być mierzone w zbiorniku gazowym (ze względu na niewielką ilość obecnego tam gazu przemieszanie samoistne jest nieduże) i dlatego odzwierciedla aktywność mikroorganizmów
Wady	- ew. dodatkowe zapotrzebowanie na miejsce - ew. dodatkowy budynek
Cechy szczególne	- ciśnienie służące do zasilania GBE można zwiększać przez nakładanie obciążników - lokalizacja w budynku wymaga bardzo dobrego dosyłu powietrza dla uniknięcia powstawania mieszanin wybuchowych - wydajność silnika GBE może być dopasowywana w zależności stanu napełnienia
Formy konstrukcji	- swobodnie leżące i umocowane poduszki foliowe - poduszka foliowa zabudowana w oddzielnym budynku lub zbiornik - poduszki foliowe na ślepych pułapie nad fermenterem - wór foliowy, podwieszony w budynku (np. w nieużywanej stodole) - magazynowy zbiornik foliowy pod dachem pneumatycznym
Konserwacja	• nie wymaga prawie żadnej konserwacji



magazyn z poduszką gazową



magazyn dwumembranowy

Ilustracja 3-41: Foliowe magazyny gazu; rysunki: Linke, B.: Institut für Agrartechnik Bornim

Jeżeli w charakterze magazynu na biogaz służy sam fermenter bądź zbiornik do dofermentowania, to wtedy stosuje się na nim tak zwane kopuły foliowe. Folia taka jest hermetycznie mocowana do górnej krawędzi zbiornika. W samym zbiorniku buduje się stelaż nośny, na którym folia może spoczywać wtedy, kiedy magazyn gazu jest pusty. Folia kopuły rozszerza się w zależności od stanu napełnienia magazynu gazu. Parametry znamionowe można znaleźć w tabeli 3-40, przykłady pokazuje ilustracja 3-42.

Tabela 3-40: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne kopuł foliowych, dane częściowo z [3-3]

Parametry znamionowe	• możliwa dostawa zbiornika magazynowego gazu o pojemności do 4000 m³ • nadciśnienie: 5-100 mbar • przepuszczalność folii: trzeba liczyć się ze stratami biogazu rzędu 1-5 ‰ dziennie • materiały: kauczuk butylowy, mieszanka polietylenowo-polipropylenowa, kauczuk EPDM
Kwalifikacja	• dla wszystkich biogazowni z fermenterem stojącym i zbiornikiem do dofermentowania o jak największych średnicach
Zalety	+ nie wymaga dodatkowego budynku + nie wymaga dodatkowego miejsca
Wady	- stężenie metanu w aktualnie wytwarzanym biogazie nie może być mierzone w zbiorniku gazowym ze względu na silne przemieszanie samoistne w dużym zbiorniku magazynowym i dlatego nie odzwierciedla aktywności mikroorganizmów - bez dodatkowego dachu izolacja termiczna w drodze do magazynu gazu jest niewielka - wrażliwość na wiatr z braku dodatkowego dachu
Cechy szczególne	• izolacja termiczna poprzez podwójną folię z wdmuchiwanym powietrzem (dach pneumatyczny) jest możliwa • nie można montować mieszadeł na pułapie fermentatora
Formy konstrukcji	• folia jako dach nad fermentatorem • folia pod dachem pneumatycznym • folia pod dachem stałym na wyżej wzniesionym fermentatorze • swobodnie leżące i umocowane poduszki foliowe • poduszka foliowa zabudowana w oddzielnym budynku lub zbiornik • poduszki foliowe na ślepym pułapie nad fermentatorem • wór foliowy, podwieszony w budynku (np. w nieużywanej stodole) • magazynowy zbiornik foliowy pod dachem pneumatycznym
Konserwacja	• nie wymaga prawie żadnej konserwacji

W ostatnim czasie coraz częstsze zastosowanie znajdują tak zwane dachy pneumatyczne. W tym systemie zadaszania w charakterze osłony przez niepogoda używa się drugiej kopuły foliowej, nakładanej na właściwą foliową powłokę magazynu gazu. Do przestrzeni pomiędzy obiema foliami za pomocą dmuchawy wdmuchuje się powietrze nośne.

Dzięki temu folia górna prawie zawsze znajduje się w napiętym, sprężystym stanie, podczas gdy folia dolna może dopasowywać swój kształt do ilości magazynowanego biogazu.



Ilustracja 3-42: Dolna konstrukcja dachu pneumatycznego (z lewej); biogazownia z dachami pneumatycznymi (z prawej); zdjęcia: MT-Energie GmbH

Średnio- i wysokociśnieniowe zbiorniki magazynowe

Średnio- i wysokociśnieniowe zbiorniki gazu magazynują biogaz pod ciśnieniami roboczymi między 5 a 250 bar w ciśnieniowych zbiornikach stalowych i butlach stalowych [3-1]. Są one bardzo wymagające w obsłudze i kosztowne. Przy zbiornikach ciśnieniowych w zakresie do 10 bar trzeba liczyć się z zapotrzebowaniem na energię do $0,22 \text{ kWh/m}^3$ a zbiornikach wysokociśnieniowych w zakresie do 200-300 bar z zapotrzebowaniem ok. $0,31 \text{ kWh/m}^3$ [3-3]. Dlatego zbiorników tego typu praktycznie w ogóle nie stosuje się w biogazowniach rolniczych.

Pochodnia awaryjna



Na wypadek gdyby zbiorniki magazynowe gazu nie zdołały przyjąć dodatkowych ilości biogazu i/albo sam gaz nie mógłby zostać wykorzystany np. z powodu prac konserwacyjnych albo z powodu swojej ekstremalnie złej jakości, to wtedy taka nieużyteczna część biogazu musi zostać neutralnie zutylizowana. Odpowiednie wytyczne dotyczące zezwolenia na eksploatację są w tym zakresie różnie stosowane, zgodnie ze specyfiką danego kraju związkowego, przy czym w obiektach z przepływami gazu od $20 \text{ m}^3/\text{h}$ wymaga się montażu instalacji zużywającej gaz będącej alternatywą wobec GBE. Rozwiązaniem może być budowa drugiego GBE (np. dwa mniejsze GBE zamiast jednego wielkiego).

Ilustracja 3-43: Pochodnia awaryjna w biogazowni; zdjęcie: Haase Umwelttechnik AG

Natomiast instalując pochodnię awaryjną można być zawsze pewnym, że w razie konieczności da się przedstawić faktyczną możliwość utylizacji zbędnego gazu. Natomiast same władze najczęściej żądają właśnie takiego rozwiązania. Parametry znamionowe pochodni gazowych stosowanych w zakresie biogazownictwa zawiera tabela 3-41, a ilustracja 3-43 pokazuje odpowiedni przykład.

Tabela 3-41: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne pochodni gazowych

Parametry znamionowe	• możliwe strumienie objętościowe do 1000 m³/h • temperatura spalania 800-1000°C • materiał: stal lub stal szlachetna
Kwalifikacja	• dla wszystkich biogazowni
Cechy szczególne	• możliwe spalanie otwarte lub zakryte • możliwa opcja z zaizolowaną komorą spalania przy dochowaniu wytycznych wg. dokumentu „TA Luft”, przy czym dla pochodni gazowych takie rozwiązanie nie jest bezwzględnie wymagane • dostępne z ciągiem naturalnym lub dmuchawą • obowiązek przestrzegania instrukcji bezpieczeństwa, zwłaszcza w odniesieniu do odległości od najbliższego zabudowania • niezbędne podwyższenie ciśnienia biogazu przed dyszą palnika
Formy konstrukcji	• jednostkowy agregat na własnym niedużym fundamencie betonowym pracujący w trybie ręcznym lub zautomatyzowanym
Konserwacja	• nie wymaga prawie żadnej konserwacji

3.2.5 Monitoring i sterowanie procesem technologicznym

Oprócz specjalistycznego projektu biogazowni regułą powinien być jeszcze serwis producenta instalacji towarzyszący eksploatacji obiektu. W drodze badań laboratoryjnych dąży się do optymalizowania procesu fermentacyjnego. W ten sposób zapewniona zostaje wystarczająca produkcja biogazu a jednocześnie zapobiega się najbardziej prawdopodobnym przypadkom awarii biogazowni, czyli załamaniu procesu biogazowania.

Aby móc sprawować efektywne kierownictwo i kontrolowanie procesu technologicznego, konieczny jest nadzór nad określonymi parametrami procesu fermentacji. Do oceniania i sterowania procesem gnilnym zaleca się czuwanie nad następującymi wartościami, przy czym każdego dnia należy określać pierwsze cztery spośród wartości niżej wymienionych:

- rodzaj oraz ilość doprowadzanych substratów,
- temperatura procesu,
- wartość pH,
- ilość i skład gazu,
- krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe
- stan zapełnienia.

Standaryzację i dalszy rozwój procesu fermentacji a tym samym produktywności biogazowni umożliwia tylko regularny monitoring i dokumentowanie danych pomiarowych (np. w dziennikach operacyjnych). Monitoring i dokumentowanie są niezbędne nawet przy procesach o stabilnym przebiegu, aby móc we w porę rozpoznać ewentualne odchylenia od wartości normalnych. Tylko w taki sposób istnieje możliwość odpowiednio wczesnej interwencji i związanej z tym odpowiedniej korekty procesu fermentacji. Automatyczne systemy pomiarowe służące do monitoringu biologii procesowej znajdują się w fazie



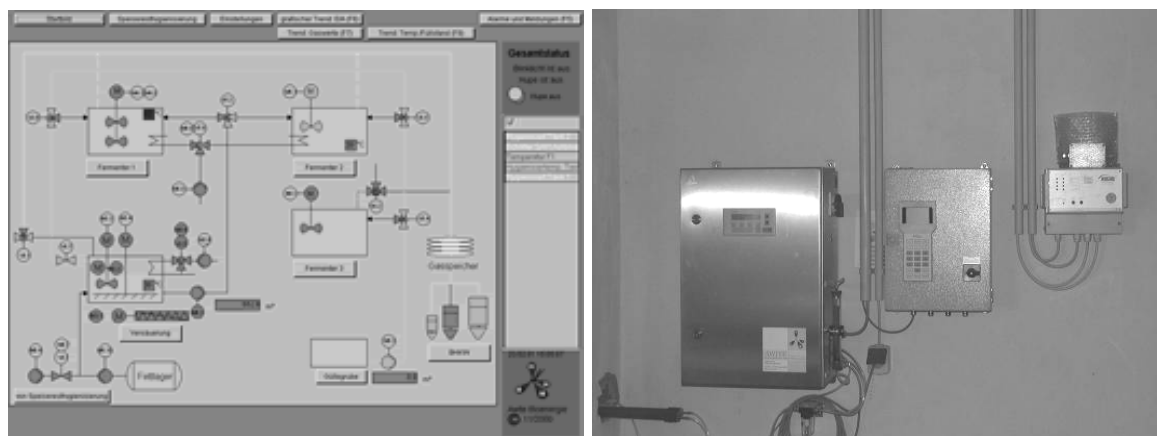
Ilustracja 3-44: Wspomagane komputerowo kierowanie instalacją biogazową;
zdjęcie: Agrartechnik Lothar Becker

rozwoju, ale na dzień dzisiejszy jeszcze nie są gotowe do wejścia na rynek. Jeżeli użytkownik stosuje wspomagany komputerowo układ sterowania biogazownią, to wartości pomiarowe mogą być rejestrowane i wizualizowane przez komputer za pośrednictwem odpowiednich systemów. Trzonem układu automatycznego monitoring jest niezmiennie kontrola funkcjonowania wszystkich agregatów. Obok układu automatycznego sterowania obiektem można również realizować zdalne transmisje danych. Ilustracja 3-44 pokazuje przykład komputerowego układu monitoringu biogazowni.

Automatyzacja biogazowni przybiera coraz większą skalę. Większością agregatów biogazowni można sterować automatycznie za pomocą systemów kierowania procesem technologicznym. Poniższa lista przedstawia znane układy sterowania komponentami układu:

- zasilanie substratem,
- higienizacja,
- ogrzewanie fermentera,
- agregaty mieszające,
- usuwanie sedymentów,
- transport substratu przez instalację,
- oddzielanie frakcji płynnej od stałej,
- odsiarczanie,
- gazowy blok energetyczny.

Rodzaje układu sterowania obejmują zakres od zegarów sterujących do wizualizowanych wspomaganych komputerowo systemów regulacji z monitoringiem zdalnym przez serwis obiektu. Układ sterowania instalacją biogazową jest projektowany i dostarczany indywidualnie dla danego obiektu. Ilustracja 3-45 pokazuje przykłady wizualizowania procesu technologicznego i centralnej ewidencji danych pomiarowych.



Ilustracja 3-45: Wizualizacja procesu i centralna ewidencja danych pomiarowych;
zdjęcia: Awite Bioenergie GbR

W praktyce standard pomiarowego i regulacyjnego wyposażenia biogazowni w zakresie rolnictwa jest zazwyczaj bardzo prosty. Zasadniczo można wyjaśnić to w ten sposób, że na rynku jest znikomy dostęp do niewymagających licznych konserwacji oraz cenowo i kosztowo korzystnych czujników pomiarowych, które nadają się do zastosowań w technice biogazowej. Jedynymi, prawie nieograniczenie stosowanymi sensorami są tutaj czujniki temperatury i ciśnienia, jakich używa się niemal w każdej instalacji.

W dalszej części tekstu szczegółowo scharakteryzowano pomiar poszczególnych wielkości pomiarowych, jakie są ewidencjonowane podczas pracy biogazowni.

Dodawana porcja substratów pompowalnych

Ilość pompowalnych substratów, jaka została wprowadzona do fermentera, może być określana poprzez pomiar przepływu. Przepływomierze muszą być odporne na zabrudzenia. Właśnie z tego powodu nie sprawdziły się przepływomierze pracujące na częściach mechanicznych. Dlatego przede wszystkim stosuje się przepływomierze pracujące indukcyjnie bądź pojemnościowo. W międzyczasie do użytku wchodzi sporadycznie metody pomiaru ultradźwiękowego i ciepło-przewodnościowego, których parametry w jak najdalej idącej mierze pokrywają się z parametrami sensorów indukcyjnych i pojemnościowych. Parametry eksploatacyjne przedstawia tabela 3-42.

Tabela 3-42: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne przepływomierzy indukcyjnych i pojemnościowych

Parametry znamionowe	- wszystkie typowe dla biogazowni strumienie przepływowe mogą być zmierzone - sensory powinny być wykonane ze stali szlachetnej, aby nie ulegały korozji
Kwalifikacja	do wszystkich substratów pompowalnych
Cechy szczególne	ze względu na konstrukcję bez części mechanicznych pracujących w strumieniu substancji brak utrudnień w strumieniu substancji mimo dokładnego pomiaru

Formy konstrukcji	• sensory wbudowywane w przewody rurowe
Konserwacja	• bardzo łatwa od zewnątrz, bez ingerencji w strumień substancji

Ilość dodawanych substancji stałych

Do wyznaczania wprowadzanych ilości substancji stałych bądź ilości kosubstratu (kukurydzy silosowej, resztek poplonowych, itd.) powinny być zainstalowane odpowiednie urządzenia wagowe. Z gęstości materiałów stałych można wnioskować o wielkości wprowadzonego wolumenu. W taki właśnie sposób możliwe jest zdefiniowanie dawkowania materiałów stałych. Parametry znamionowe można znaleźć w tabeli 3-43.

Tabela 3-43: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne systemów zbierania danych o masie substancji stałych

Parametry znamionowe	• sensory nacisku są dostępne dla wszystkich klas wagowych, zawartość wszystkich znanych w technice biogazowej zasobników wstępnych można ważyć z pozycji sensorów nacisku • sensory muszą być wodoszczelne i odporne na warunki pogodowe
Kwalifikacja	• wszystkie przenoszone przez agregaty substraty, które nie muszą być na stałe związane z fermenterem
Cechy szczególne	• ważenie zawsze musi możliwe w stanie swobodnego zawieszenia, należy unikać zabrudzeń w obrębie sensorów nacisku i pod zasobnikiem wstępnym, • trzeba bezwzględnie unikać dopełniania zasobników wstępnych podczas procesu zasilania • typowe urządzenia wagowe na ładowarce kołowej nie mogą automatycznie przekazywać danych do układu sterowania procesem technologicznym
Formy konstrukcji	• wyposażone w sensory nacisku zasobniki wstępne służące do wprowadzania substancji stałych • wyposażone w urządzenia wagowe ładowarki kołowe
Konserwacja	• możliwa z zewnątrz przy nieznacznych przerwach zasilania

Stan zapełnienia fermentatora

Do monitoringu stanu zapełnienia w fermenterze i w zbiornikach magazynowych stosuje się systemy mierzące ciśnienie hydrostatyczne występujące na dnie fermentera albo mierzące ultradźwiękowo bądź radarowo odległość do powierzchni cieczy. Parametry znamionowe dotyczące zarządzeń odnośnie pomiaru stanu zapełnienia przedstawia tabela 3-44.

Tabela 3-44: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne urządzeń pomiarowych stanu zapelnienia fermentatora

Parametry znamionowe	- ciśnienia hydrostatyczne mogą być dokładnie mierzone do 10 cm słupa wody dla wszystkich znanych wysokości fermenterów - pomiar odległości lustra cieczy od pułapu fermentera jest możliwy dla wszystkich znanych wysokości fermenterów z dokładnością poniżej 1 cm
Kwalifikacja	dla wszystkich znanych typów fermentatorów w fermentacji mokrej
Cechy szczególne	- sensory w magazynowym zbiorniku gazu mogą ulegać silnej korozji i zabrudzeniu, co może doprowadzić do błędów pomiarowych i zniszczenia sensorów - bardzo utrudniona lub wręcz niemożliwa konserwacja sensorów w fermentatorze
Formy konstrukcji	- pomiar ciśnienia hydrostatycznego ciśnienia na dnie fermentatora - pomiar odległości od pułapu fermentatora do powierzchni cieczy za pomocą radaru lub ultradźwięków - manometr U-rurkowy jako manualnie odczytywalny instrument prosty
Konserwacja	- prawdopodobna konieczność wykonania otworu lub opróżnienia całego fermentera na czas prac konserwacyjnych lub wymiany sensorów - sensory zainstalowane na podzespołach dających się demontować od zewnątrz wydają się ułatwiać czynności - obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermenterze - w indywidualnym przypadku ciężar fermentera można również mierzyć za pomocą czujników manometrycznych

Stan zapelnienia zbiornika magazynowego gazu

Dzięki danym o stanie zapelnienia zbieranym w zbiorniku magazynowym gazu można sterować gazowe bloki energetyczne włączone w dalszej części układu. Tak więc istnieje możliwość odłączania GBE (niem. BHKW) przy zbyt niskiej produkcji gazu oraz ponownego ich uruchamiania przy dostatecznej ilości zmagazynowanego biogazu. Pomiar stanu zapelnienia odbywa się za pomocą sensorów ciśnieniowych. Ciśnienie w zbiorniku magazynowym gazu może być wykorzystywane do sterowania zagęszczacza znajdującego się przed gazowym blokiem energetycznym. Parametry znamionowe urządzeń pomiarowych służących do zbierania danych o stanie zapelnienia zbiornika magazynowego gazu przedstawia tabela 3-45.

Tabela 3-45: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne urządzeń pomiarowych służących do zbierania danych o stanie zapełnienia w zbiorniku magazynowym gazu

Parametry znamionowe	• możliwy pomiar ciśnienia z dokładnością do kilku milibarów
Kwalifikacja	• nadaje się do wszystkich niskociśnieniowych zbiorników magazynowych gazu
Cechy szczególne	• sensory muszą być odporne na korozję i na wysoką wilgotność powietrza
Formy konstrukcji	• pomiar ciśnienia hydrostatycznego na dnie fermentera • pomiar odległości od pułapu fermentera do powierzchni cieczy za pomocą radaru lub ultradźwięków • manometr U-rurkowy jako manualnie odczytywalny instrument prosty
Konserwacja	• możliwa i łatwa przy zainstalowaniu sensorów ciśnienia, które można wyjmować na zewnątrz z magazynowego zbiornika gazu • obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermenterze

Temperatura procesu technologicznego

Temperatura w fermenterze musi być mierzona po to, aby zapewnić stałą temperaturę procesu technologicznego. Dla monitoringu temperatury procesu technologicznego należy zaprojektować w fermenterze kilka punktów pomiarowych. Można zastosować elementy pomiarowe PT100 lub NTC. Mierzone wartości trzeba też dokumentować. Poprzez zadawanie wartości pomiarowych na systemy przewodzące mogą być one rejestrowane i wizualizowane przez komputer. I tak przy zastosowaniu odpowiednich zaworów jest również możliwe automatyczne sterowanie obwodem grzewczym. Charakterystyka czujników temperatury dla techniki biogazowej jest przedstawiona w tabeli 3-46.

Tabela 3-46: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne czujników temperatury

Parametry znamionowe	• temperatury można precyzyjnie mierzyć za pomocą termoelementów z dokładnością do $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$, elementy NTC pozwalają na pomiar z dokładnością do $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$
Kwalifikacja	• nadaje się do wszystkich typów fermentera
Cechy szczególne	• termoelementy muszą być połączone za pomocą tzw. przewodów wyrównawczych z układem zbierającym dane • sensory nie mogą być instalowane zbyt blisko ścian lub grzejników w fermenterze, żeby nie dochodziło do błędów pomiarowych • rozkład temperatur w fermenterze nie zawsze jest jednorodny, dlatego zaleca się korzystanie z kilku punktów pomiarowych

Cechy szczególne	dalsze punkty pomiarowe w agregatach grzewczych i na urządzeniach odbiorczych
Formy konstrukcji	najczęściej jako termoelementy płaszczone, bądź sensory NTC w płaszczu metalowym
Konserwacja	- zależnie od typu sensory temperatury muszą być regularnie kalibrowane - obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermentatorze

Wartość pH

Wartość pH daje ważne wskazania odnośnie stanu procesu fermentacyjnego. Jej pomiar może odbywać się w regularnych odstępach czasu poprzez pobieranie reprezentatywnej próbki z fermentera za pomocą dostępnych w handlu pH-metrów. Wartości pomiarów muszą być dokumentowane w celu oznaczenia trendu. Poniższa tabela 3-47 zawiera zestawienie parametrów znamionowych pH-metrów.

Tabela 3-47: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne pH-metrów

Parametry znamionowe	- wartości pH mogą być ewidencjonowane w zakresie 0 do 12, natomiast wartości od 5 do 8 są tylko wartościami prognozowanymi - sondy pomiarowe z reguły są wykonane ze szkła
Kwalifikacja	- dla wszystkich substratów pompowalnych - jeżeli pomiary wykazują bardzo niskie wartości pH, to wtedy zachodzi groźba „uśmiercenia” fermentatora, natomiast w momencie zmierzenia zbyt małej wartości pH na ingerencję w proces technologiczny jest już najczęściej za późno
Cechy szczególne	- dryfowanie sensorów powoduje konieczność ich częstego kalibrowania - sondy muszą być zawsze przechowywane w roztworze soli - pomiarów trzeba niezwłocznie dokonywać na świeżo pobranej próbce - w fermentatorze musi być zaprojektowany otwór do pobierania próbek
Formy konstrukcji	- typowo stosowana sonda ręczna, którą zanurza się w substracie - możliwe jest zainstalowanie sond stałych w fermenterze
Konserwacja	- kalibracja jest konieczna przed każdorazowym pomiarem - obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermenterze

Oznaczanie kwasów tłuszczowych / skład substratów

Monitoring kwasów tłuszczowych umożliwia rzetelną ocenę procesu fermentacyjnego. Przy pomiarze oznacza się spektrum i stężenie krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, które powstają podczas fermentacji.

Ze względu na wysoki nakład czynności pomiarowych i kosztowną technikę pomiarową ciągły pomiar jest trudno wykonalny na miejscu. A jeśli próbki oddaje się do analizy laboratoryjnej, to wtedy odstęp czasowy od pobrania próbki do uzyskania wyniku analizy staje się dość duży. Stąd też jednoznacznie orzekanie na temat aktualnego stanu procesu fermentacyjnego jest dość trudne. Wiele firm produkcyjnych i doradczych w dziedzinie biogazowni oferuje usługę oznaczanie kwasów tłuszczowych w ramach dalszej obsługi biogazowni.

Rozwiązaniem alternatywnym lub dodatkowym w stosunku do oznaczania stężeń kwasów tłuszczowych jest ciągły lub nieciągły monitoring stężenia ChZT (skr. niem. CSB - chemicznego zapotrzebowania na tlen). Zaletę stanowi tutaj możliwość dokonywania analizy na miejscu i w trybie automatycznym, co nawet pozwala na regulowanie procesu. Zestawienie charakterystyk metod oznaczania składu substratów przedstawia tabela 3-48.

Tabela 3-48: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne metod oznaczania składu substratów

Parametry znamionowe	• można przeprowadzać pomiar stężeń kwasów tłuszczowych do poziomu CSB rzędu 10.000 mg/l • możliwość pomiarów stężeń ChZT od 10 do 50.000 mg/l
Kwalifikacja	• dobrze nadają się dla wszystkich substratów pompowalnych
Cechy szczególne	• transport próbek powinien trwać w miarę możliwości jak najkrócej, aby zachować świeżość próbki do analizy, ponieważ proces rozkładu biologicznego trwa nade wszystko w naczyniu próbkowym • w fermenterze musi być zaprojektowany otwór do pobierania próbek • do realizacji tych metod potrzebne są odpowiednie chemikalia
Formy konstrukcji	• kwasy tłuszczowe mogą być identyfikowane przez chromatografię gazową w laboratorium • ChZT może być identyfikowany w drodze oksydacji, istnieje oferta na metodę pomiarową on-line
Konserwacja	• konieczne są regularne kalibracje • prace konserwacyjne leżą w gestii użytkownika biogazowni

Ilość gazu

Pomiary ilości powstającego biogazu są konieczne ze względu na monitorowanie procesu technologicznego. Pojawiające się nieregularności w produkcji gazu mogą wskazywać na zakłócenia w procesie, stanowiąc sygnał do podjęcia niezbędnej reakcji.

Do pomiaru instaluje się gazomierze w rurociągu gazowym. Zmierzone ilości biogazu trzeba rejestrować w celu ustalenia trendu. Parametry znamionowe zawiera tabela 3-49.

Tabela 3-49: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne gazomierzy

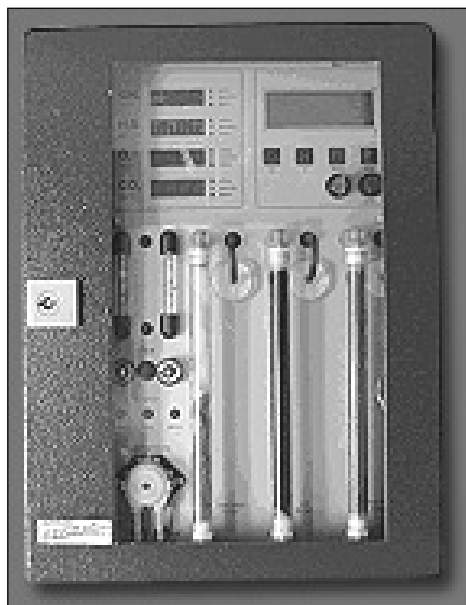
Parametry znamionowe	są dostępne przepływomierze do pomiaru wszystkich możliwych strumieni objętościowych
Kwalifikacja	nadaje się dla wszystkich biogazowni
Cechy szczególne	gazomierze muszą być odporne na korozyjne działanie biogazu
Formy konstrukcji	gazomierze puszkowe, wirowe i krętne w zależności od przepływu gazu
Konserwacja	- łatwa konserwacja możliwa ze względu na instalację urządzenia w rurociągu gazowym - konieczność wyłączenia GBE podczas prac konserwacyjnych - obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermenterze

Skład chemiczny gazu

Analizy gazu przy zastosowaniu odpowiednich urządzeń pomiarowych pozwalają na ciągłe kontrolowanie składu chemicznego gazu. Wyniki pomiarów mogą być wykorzystane do sterowania procesem fermentacji lub do dalszych w kolejności procesów technologicznych, np. do oczyszczania gazu. Do oznaczania składu chemicznego gazu można zastosować sensory na bazie efektu cieplnego reakcji, przewodnictwa cieplnego, absorpcji promieniowania podczerwonego, chemisorpcji lub na bazie oznaczania elektrochemicznego. Przy doborze metod należy uwzględniać dokładność pomiarów,

selektywność, liniowość, zakres pomiarowy i czułość sensorów bądź metod analitycznych. Do oznaczania metanu i dwutlenku węgla dobrze kwalifikują się czujniki podczerwienne, natomiast czujniki elektrochemiczne do oznaczania wodoru, tlenu i siarkowodoru.

Pomiary w biogazowniach przeprowadza się za pomocą mierników ręcznych lub stacjonarnych. Mierniki ręczne mogą dostarczać obraz o składzie gazu, ale integracja zebranych w ten sposób danych pomiarowych we wspomaganym komputerowo systemie sterowania obiektem okazuje bardzo trudna w porównaniu z urządzeniami pracującymi stacjonarnie. Charakterystykę sensorów stosowanych do pomiarów składu chemicznego gazu zawiera tabela 3-50. Przykład urządzenia pokazuje ilustracja 3-46.



Ilustracja 3-46: Analizator gazu; zdjęcie: Schmack biogaz AG

Tabela 3-50: Parametry znamionowe i parametry eksploatacyjne sensorów identyfikujących skład chemiczny gazu

Parametry znamionowe	• możliwość identyfikowania wszystkich zakresów stężeń • dokładność mierników zależy od rodzaju sensorów i wybranych zakresów pomiarowych
Kwalifikacja	• dla wszystkich biogazowni po osuszeniu biogazu
Cechy szczególne	• sensory mogą ulec zniszczeniu przez skondensowaną wilgoć w gazie, dlatego zaleca się osuszanie gazu przed przepuszczeniem go przez układ sensorów • aby zachować żywotność sensorów, można je zasilać biogazem w cyklu przerywanym, aby zbierać dane pomiarowe np. w godzinnych odstępach czasu • sensory elektrochemiczne są korzystne pod względem kosztowym, jednak muszą być i często kalibrowane i wymieniane raz lub dwa razy w roku • przy pomiarach trzeba mieć na uwadze fakt, że aktualnie wytwarzany gaz miesza się z biogazem magazynowanym w zbiorniku nad fermenterem, przez co pomiar może ustalić wyłącznie średnią wartość stężenia gazu • wszystkie podzespoły mające styczność z biogazem muszą być odporne na jego działanie • pomiary za pomocą urządzeń ręcznych nastroczają duże trudności w odzwierciedlanie trendu w składzie chemicznym gazu • przy pomiarach za pomocą urządzeń ręcznych należy mieć na uwadze fazę rozruchową, kiedy urządzenia przez okres do 30 minut od włączenia nie dostarczają rzetelnych danych pomiarowych
Formy konstrukcji	• sensory elektrochemiczne do wodoru, tlenu, siarkowodoru i metanu • sensory podczerwienne do dwutlenku węgla i metanu • można nabywać urządzenia pomiarowe w wersji ręcznej albo jako instalowane na stałe
Konserwacja	• konieczność regularnych sprawdzianów i kalibracji • obowiązkowe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa pracy w fermentatorze

3.3 Zasady bezpieczeństwa

Biogaz jest mieszaniną gazów składającą się zasadniczo z metanu (50-80 %obj.), dwutlenku węgla (20-50 %obj.), siarkowodoru (0,01-0,4 %obj.) jak również z innych gazów śladowych [3-15], [3-16]. Tabela 3-51 zawiera zestawienie właściwości biogazu w opozycji do innych gazów. Tabela 3-52 zawiera zestawienie właściwości poszczególnych składników biogazu.

W połączeniu z tlenem atmosferycznym biogaz będący mieszaniną gazów staje się wybuchowy w określonych granicach, stąd też przy budowie i eksploatacji biogazowni wymaga się przestrzegania szczególnych przepisów bezpieczeństwa.

Tabela 3-51: Właściwości gazów [3-16], [3-17]

		Biogaz ¹	Gaz ziemny	Propan	Metan	Wodór
Wartość opałowa	kWh/m ³	6	10	26	10	3
Gęstość	kg/m ³	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Stosunek gęstości do powietrza		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Temperatura zapłonu	°C	700	650	470	600	585
Wybuchowość	% obj.	6 - 12	4,4 - 15	1,7 – 10,9	4,4 – 16,5	4 - 77

Tabela 3-52: Właściwości składników biogazu [3-16], [3-17], [3-18]

		CH ₄	CO ₂	H ₂ S	CO	H
Gęstość	kg/m ³	0,72	1,85	1,44	1,57	0,084
Stosunek gęstości do powietrza		0,55	1,53	1,19	0,97	0,07
Temperatura zapłonu	°C	600	-	270	605	585
Wybuchowość	% obj.	4,4 – 16,5	-	4,3 – 45,5	10,9 – 75,6	4 – 77
Wartość NDS-2	ppm	n.a.	5000	10	30	n.a.

Poza tym istnieją jeszcze inne zagrożenia np. uduszenia lub zatrucia jak również zagrożenia typu mechanicznego. Te wielorakie przepisy bezpieczeństwa zostały opisane w różnych zbiorach reguł. Wśród nich należy wyeksponować „Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ (dokument roboczy 69) federalnej branżowej organizacji przedsiębiorstw rolniczych działającej jako zakład ubezpieczeń w zakresie obowiązkowego ubezpieczenia od następstw nieszczęśliwych wypadków przy pracy [niem.: *Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften*] [3-16], w których opisano wymagania wobec budowy i eksploatacji biogazowni w rozumieniu

¹ Przykład: metan 60 vol.-%, dwutlenek węgla 38 vol.-% i gazy resztkowe 2 vol.-%

² NDS [niem. MAK - *maximale Arbeitsplatzkonzentration*] = najwyższe dopuszczalne stężenie w pomieszczeniu

instrukcji wykonawczej do §1 przepisu o zapobieganiu nieszczęśliwym wypadkom „Miejsca pracy, obiekty budowlane i instytucje” [niem.: „*Arbeitsstätten, bauliche Anlagen i Einrichtungen*”] (VSG 2.1) [3-19] tychże branżowych organizacji przedsiębiorstw rolniczych. Niniejszy rozdział ma za zadanie przedstawić czytelnikowi pewien przegląd potencjalnych zagrożeń przy eksploatacji biogazowni i stosownie uczulić na ich istnienie, dlatego w żadnym wypadku nie może tu zastępować obowiązujących wydań zacytowanych reguł [3-16], [3-18], [3-19], [3-20].

3.3.1 Niebezpieczeństwo uduszenia i zatrucia

Uwalnianie biogazów jest znanym procesem naturalnym i dlatego nie może ograniczać się wyłącznie do samych biogazowni. W przeszłości w gospodarce hodowlanej co i raz dochodziło do nieszczęśliwych wypadków (w tym śmiertelnych) związanych z biogazami (np. w komorach na gnojowicę, silosach paszowych, etc.). Jeżeli biogaz zgromadzi się w wystarczająco wysokim stężeniu, to wtedy podczas wdychania może dojść objawów zatrucia bądź duszenia się, a nawet do śmierci. Szczególnie znaczenie ma tu udział zawartego w nieodsiarczonym biogazie siarkowodoru (H_2S), który już w niewielkich stężeniach działa silnie trująco (patrz tabela 3-53).

Tabela 3-53: Trujące działanie siarkowodoru [3-17]

Stężenie (w powietrzu)	Oddziaływanie
0,03 – 0,15 ppm ³	próg percepcji (zapach zgniłych jaj)
15 – 75 ppm	podrażnienie oczu i dróg oddechowych, nudności, wymioty, bóle głowy, utrata przytomności
150 – 300 ppm (0,015 – 0,03 %)	porażenie nerwów węchowych
> 375 ppm (0,038 %)	śmierć przez zatrucie (po kilku godzinach)
> 750 ppm (0,075 %)	utrata przytomności i śmierć w ciągu 30-60 minut wskutek zatrzymania funkcji oddechowych
ab 1000 ppm (0,1 %)	szybka śmierć w ciągu paru minut wskutek porażenia oddechu

Ponadto do uduszenia może dojść zwłaszcza w zamkniętych lub niżej położonych pomieszczeniach zamkniętych, gdzie gromadzący się biogaz wypiera tlen. Wprawdzie biogaz ze swoją gęstością względną ok. 1,2 kg na Nm³ jest lżejszy od powietrza, ale ma tendencję do odmieszania się. W takim cięższy dwutlenek węgla ($D = 1,85 \text{ kg/m}^3$) gromadzi się nisko przy podłożu, podczas gdy lżejszy metan ($D = 0,72 \text{ kg/m}^3$) ulatuje do góry. Z tych powodów w pomieszczeniach zamkniętych, np. przebudowanych na magazyny biogazu, trzeba koniecznie zadbać o dostateczną i stałą wentylację.

³ ppm = parts per million (1ppm = 0,0001%)

Ponadto podczas prac na potencjalnie niebezpiecznych obszarach (fermentator, studnie konserwacyjne, magazyny gazu etc.) trzeba koniecznie nosić środki ochrony osobistej (np. wykrywacze gazu, ochraniacze dróg oddechowych itd.).

3.3.2 Niebezpieczeństwo wybuchu i pożaru

Jak już wcześniej wspomniano, w określonych warunkach może się zdarzyć tak, że biogaz w połączeniu z powietrzem tworzy potencjalnie wybuchową mieszaninę gazową (patrz tabela 3-52). Wprawdzie powyżej granicy wybuchowości nie istnieje zagrożenie wybuchem, ale działanie otwartego ognia, iskrzenia przełączanych urządzeń elektrycznych czy nawet uderzenia pioruna może wywołać pożar.

Stąd też podczas eksploatacji biogazowni, zwłaszcza w bliskim otoczeniu zbiorników fermentacyjnych i magazynów gazu, trzeba brać pod uwagę występowania potencjalnie wybuchowych mieszanek gazowo-powietrznych jak również ze zwiększonym ryzykiem pożarowym. Zależnie od prawdopodobieństwa wystąpienia atmosfery wybuchowej różne obszary obiektu dzieli się - zgodnie z regułami opisanymi w dokumencie „Reguły ochrony przed wybuchem BGR 104“ [niem.: „BGR 104 – Explosionsschutz-Regeln“] [3-19]- na tak zwane „strefy zagrożenia wybuchem“, w których koniecznie trzeba podjąć stosowne środki prewencji i bezpieczeństwa.

Strefa 0

Na obszarach strefy 0 atmosfera wybuchowa występuje *stale, długotrwale albo przeważając w czasie* [3-16], [3-19]. Jednak w normalnym przypadku napotkać znaleźć takie obszary przy biogazowni. Również sam/e zbiornik/i fermentacyjny/e nie stanowi takiej strefy.

Strefa 1

Strefa to opisuje obszary, w których atmosfera wybuchowa występuje *sporadyczne*. Mogą to być obszary w bliższym otoczeniu otworów wlotowych magazynu gazu lub od strony układu przewodzącego gaz w komorze gnilnej, w pobliżu urządzeń spustowych, zabezpieczeń przed nadciśnieniem lub pochodni gazowych [3-16]. Wokół tych obszarów w obrębie 1 m (przy swobodnym przewietrzaniu) należy realizować środki bezpieczeństwa strefy 1. Zakres ten rozszerza się w pomieszczeniach zamkniętych do 4,5 m [3-19].

Strefa 2

Na tych obszarach w normalnym przypadku nie trzeba liczyć się z występowaniem wybuchowych mieszanek gazowo-powietrznych. Jednak, zdarza się, jak można założyć, że taki przypadek może wystąpić bardzo rzadko i na krótki okres czasu (np. przy pracach serwisowych lub w razie usterki) [3-16], [3-19].

Dotyczy to otworów wlotowych jak również wnętrza fermentera oraz bliższego otoczenia otworów napowietrzających i odpowietrzających przy magazynach gazu.

Na tych obszarach w obrębie od 1 do 3 m trzeba realizować środki ostrożności przewidziane dla strefy 2 [3-19].

Na obszarach zagrożonych wybuchem trzeba zastosować środki opisane w BRG 104, rozdział E2 o unikaniu źródeł zapłonu. Dodatkowo obszary takie należy oznakować stosownymi tablicami ostrzegawczymi i informacyjnymi.

3.3.3 Dalsze niebezpieczeństwa wypadku

Oprócz opisanych powyżej źródeł zagrożeń istnieją jeszcze inne źródła wypadków, np. niebezpieczeństwo upadku przy drabinach przy otwartych dołach (leje wlewowe, studnie konserwacyjne etc.). Dodatkowym źródłem zagrożeń są ruchome części obiektu (wały mieszadeł, etc.).

W zakresie gazowych bloków energetycznych może dojść do śmiertelnych porażeń prądem elektrycznym wskutek nieodpowiedniej obsługi lub wskutek awarii, jako że tutaj wytwarzana jest energia elektryczna o napięciach rzędu setek woltów i natężeniach o trzycyfrowej skali amperażu. Takie samo niebezpieczeństwo istnieje również od strony mieszadeł, pomp, urządzeń doprowadzających etc., jako że one pracują z analogicznie wysokimi poborami mocy.

W dalszej kolejności istnieje niebezpieczeństwo poparzeń (gorącymi cieczami) z układów grzewczych ew. chłodzących (chłodnice silników, instalacja grzewcza fermentera, wymienniki ciepła, etc.) w biogazowni w razie awarii. Zagrożenie to dotyczy również części GBE bądź ewentualnych zainstalowanych systemów awaryjnych (np. pochodnia gazowa).

Aby zapobiegać tego rodzaju wypadkom, na odpowiednich częściach obiektu trzeba koniecznie zamontować dobrze widoczne tablice ostrzegawcze i odpowiednio przeszkolić personel obsługi.

3.4 Spis literatury

- [3-1] Schulz, H.; Eder, B.: Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiel, 2. überarbeitete Auflage, Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1996, 2001
- [3-2] Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im Landwirtschaftlichen Bereich; (FNR-FKZ: 00NR179); 3. Zwischenbericht; Institut für Technologie i Systemtechnik / Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig; 2001
- [3-3] Jäkel, K.: Managementunterlage „Landwirtschaftliche Biogaserzeugung und -verwertung“, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 1998 / 2002
- [3-4] Neubarth, J.; Kaltschmitt, M.: Regenerative Energien in Österreich - Systemtechnik, Potenziale, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte; Wien, 2000
- [3-5] Hoffmann, M.: Trockenfermentation in der Landwirtschaft – Entwicklung i Stand, Biogas – Energieträger der Zukunft, VDI-Berichte 1751, Tagung Leipzig 11 i 12. März 2003

- [3-6] Aschmann, V.; Mitterleitner, H.: Trockenvergären: Es geht auch ohne Gülle, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- [3-7] Beratungsempfehlungen Biogas, Verband der Landwirtschaftskammern e.V., VLK-Beratungsempfehlungen 2002
- [3-8] Block, K.: Feststoffe direkt in den Fermenter, Landwirtschaftliches Wochenblatt, S. 33-35, 27/2002
- [3-9] Wilfert, R.; Schattauer, A.: Biogasgewinnung und -nutzung – Eine technische, ökologische i ökonomische Analyse; DBU Projekt 15071; Zwischenbericht; Institut für Energetik i Umwelt gGmbH Leipzig, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig, Dezember 2002
- [3-10] Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 3: Beton für landwirtschaftliche Bauvorhaben, Bauberatung Zement
- [3-11] Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 13: Dichte Behälter für die Landwirtschaft, Bauberatung Zement
- [3-12] Gers-Grapperhaus, C.: Die richtige Technik für ihre Biogasanlage, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- [3-13] Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 14: Beton für Behälter in Biogasanlagen, Bauberatung Zement
- [3-14] Kretzschmar, F.; Markert, H. (2002): Qualitätssicherung bei Stahlbeton-Fermentern; in: Biogasjournal Nr. 1/2002
- [3-15] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- [3-16] Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen (Arbeitsunterlage 69); Bundesverband der landw. Berufsgenossenschaften e.V.; Kassel 2002
- [3-17] Falbe, J. et al. (Hrsg); Römpf Chemie Lexikon; Georg Thieme Verlag; 9. Auflage; Stuttgart, 1992
- [3-18] Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz (TRGS 900); Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Download vom 17.09.03; <http://www.baua.de/prax/ags/trgs.htm>
- [3-19] „Arbeitsstätten, bauliche Anlagen und Einrichtungen“ (VSG 2.1); Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften; Download vom 28.08.03; http://www.lsv-d.de/verbaende/01blb/02serv_bera/vsg/index.html
- [3-20] BGR 104 – Explosionsschutz-Regeln; Carl Heymanns Verlag KG; Köln, 2002

4 Opis wybranych podłoży

W tym rozdziale przyjrzymy się bliżej wybranym podłożom. Rozważania będą dotyczyły zarówno pochodzenia podłoży, jak również ich najważniejszych właściwości, takich jak sucha masa (sm), sucha masa organiczna (smo), składniki odżywcze (N, P, K) lub występujące organiczne substancje szkodliwe. Ponadto przedstawimy szacunkowe dane dotyczące oczekiwanych zysków z gazu jak i jakości gazu oraz zasady obchodzenia się z podłożami.

Z uwagi na fakt, że nie możemy opisać wszystkich możliwych podłoży, niniejszego rozdziału nie możemy traktować jako pełnego opisu przedmiotu naszych rozważań. Zaprezentowane przez nas podłoża ulegają rocznym wahaniom jakościowym, co stanowi przyczynę, że podane w tym rozdziale dane nie są wartościami bezwzględnymi.

4.1 Podłoża pochodzenia rolniczego

4.1.1 Nawóz naturalny

Jeśli za podstawę przyjmiemy statystyki dotyczące chowu zwierząt gospodarskich w Niemczech, to okazuje się, że w samym tylko chowie krów i świń kryje się olbrzymi potencjał podłoży, nadających się do użycia w instalacjach biogazowych. Na skutek ciągle wzrastających ilości przetwórczych w chowie zwierząt oraz coraz surowszych wymagań odnośnie ochrony środowiska naturalnego zmierzających do ponownego wykorzystania odchodów, zachodzi konieczność poszukania alternatywnych sposobów przetwarzania zbieranej gnojowicy wzgl. stałych nawozów organicznych. Tabela 4-1 przedstawia dane dotyczące ilości składników odżywczych w nawozach naturalnych.

Tabela 4-1: Zawartości składników odżywczych w nawozach naturalnych [4-1]

podłoże	sm [%]	smo [% sm]	N	NH ₄	P ₂ O ₅ [% sm]	K ₂ O	Mg
gnojowica bydła	8-11	75-82	2,6-6,7	1-4	0,5-3,3	5,5-10	0,3-0,7
gnojowica świń	około 7	75-86	6-18	3-17	2-10	3-7,5	0,6-1,5
obornik bydła	około 25	68-76	1,1-3,4	0,22-2	1-1,5	2-5	1,3
obornik świń	20-25	75-80	2,6-5,2	0,9-1,8	2,3-2,8	2,5-3	b.d.
obornik kurzy	około 32	63-80	5,4	0,39	b.d.	b.d.	b.d.

W związku z inicjatywą „Dobra jakość i pewne zbiory” („Gute Qualität und sichere Erträge”) podjętą przez niemieckie Ministerstwo Środowiska oraz Ministerstwo Ochrony Konsumenta w czerwcu 2002 roku, Federalny Urząd Środowiska w Berlinie ustalił następujące średnie zawartości metali ciężkich (tabela 4-2).

Tabela 4-2: Zawartości metali ciężkich w nawozach naturalnych [4-3]

podłoże	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg sm]						
gnojowica bydła	0,3	7,3	44,5	0,06	5,9	7,7	270
gnojowica świń	0,4	9,4	309	0,02	10,3	6,2	858
obornik bydła	0,29	12,9	39,0	0,03	5,2	30,0	190
obornik świń	0,33	10,3	450	0,04	9,5	5,1	1068
obornik kurzy	0,25	4,4	52,6	0,02	8,1	7,2	336

Uzysk biogazu z gnojowicy bydła z rezultatem od 20 do 30 m³ /t podłoża jest nieco niższy, niż w przypadku uzysku z gnojowicy świń (por. tabela 4-3). Dodatkowo gaz z gnojowicy bydła w porównaniu z gazem z gnojowicy świń posiada wyraźnie mniejszą średnią zawartość metanu [4-4]. Jest to spowodowane tym, że żołądek krowy pracuje na podobnej zasadzie, co instalacja biogazowa, a więc gnojowica zostaje wstępnie przefermentowana.

Tabela 4-3: Uzysk gazu i zawartość metanu w nawozach naturalnych

podłoże	uzysk biogazu		zawartość CH ₄
	[m ³ /t podłoża]	[m ³ /t smo]	
gnojowica bydła	20-30	200-500	60
gnojowica świń	20-35	300-700	60-70
obornik bydła	40-50	210-300	60
obornik świń	55-65	270-450	60
obornik kurzy	70-90	250-450	60

Gnojowica bydła i świń ze względu na relatywnie niską zawartość suchej masy pozwala się dobrze łączyć z innymi podłożami (tak zwanymi kosubstratami). Inaczej sprawa wygląda w przypadku stałego nawozu organicznego, ponieważ ze względu na posiadaną wysoką zawartość suchej masy musi on być z reguły rozcieńczony, aby umożliwić jego przepompowanie; ponadto stały nawóz organiczny musi być jednorodny. W roli kosubstratów występują tu przede wszystkim podłoża o dużej zawartości wody lub energii (wywary gorzelniane, tłuszcze itp.).

Obróbka oraz składowanie gnojowicy bydła i świń nie sprawia większego problemu. W normalnym przypadku gnojowice można doprowadzać do instalacji biogazowej bezpośrednio lub za pośrednictwem zbiornika wstępnego.

Surowce odnawialne

Chcąc przestrzegać pewnych przepisów prawnych możemy zdecydować się na uprawę na terenach leżących odłogiem surowców odnawialnych w celu wykorzystania ich w instalacjach biogazowych.

Ustawowe warunki ramowe w tym zakresie ustalono rozporządzeniem UE nr 1251 z dnia 17 maja 1999 roku [4-5] oraz odpowiednimi przepisami wykonawczymi [4-6].

Dodatkowo Federalny Zakład Gospodarki Rolnej i Żywnienia wydał informator „Instrukcje dotyczące kontroli wykorzystania surowców odnawialnych” („Merkblätter zur Verwendungskontrolle Nachwachsender Rohstoffe”) [4-7] [4-8], będący dobrym źródłem pomocy.⁴

Jeśli chcemy na obszarach leżących odłogi uprawiać surowce odnawialne z przeznaczeniem do instalacji biogazowych, to zgodnie z rozporządzeniem (WE) nr 2461/99 należy rozgraniczyć między uprawą do wykorzystania w instalacjach biogazowych działającą na potrzeby własnego bądź nie własnego gospodarstwa.

W przypadku instalacji biogazowych działających na potrzeby własnego gospodarstwa musimy złożyć w odpowiednim urzędzie deklarację uprawy. Natomiast w przypadku instalacji biogazowych działających na potrzeby nie własnego gospodarstwa konieczne będzie zawarcie umowy na uprawę i odbiór między producentem a użytkownikiem instalacji biogazowej. W obu przypadkach surowce odnawialne muszą być zebrane i zmagazynowane. Dodatkowo surowce te muszą zostać skażone, aby nie mogły posłużyć za paszę dla zwierząt lub środek spożywczy. Aktualnie dopuszcza się do tego gnojowicę lub stały nawóz organiczny oraz olej zwierzęcy lub śrutę łubinową wąskolistną, a do tego w przypadku zbóż ziarnistych można stosować barwnik „Dispers-Blau”.

Szczegółowe informacje dotyczące procedury przyznania zezwolenia przedstawiono w informatorze „Instrukcje dotyczące kontroli wykorzystania surowców odnawialnych” („Merkblätter zur Verwendungskontrolle Nachwachsender Rohstoffe”) Federalnego Zakładu Gospodarki Rolnej i Żywnienia (BLE).

4.1.1.1 Kukurydza

Kukurydza jako surowiec odnawialny nadaje się do wykorzystania w instalacjach biogazowych dzięki wysokiemu uzyskowi energii na hektar. Szczególnie w gospodarstwach hodowlanych bydła dotychczasowe wykorzystanie kiszonki z kukurydzy jako paszy musi konkurować z wykorzystaniem do instalacji biogazowych.

Co prawda plony zbierane na hektar z roku na rok są różne, ale jeśli wyciągniemy średnią, to wynoszą one 45 t świeżej masy. Pozostałe dane dotyczące kiszonki kukurydzy oraz uzysk biogazu i zawartość metanu, patrz tabela 4-4.

Tabela 4-4: Właściwości kiszonki kukurydzy

podłoże	sm	oss	N	NH ₄	P	uzysk biogazu		zawartość CH ₄ [% obj.]
	[%]	[% sm]		[% sm]		[m ³ /t śm]	[m ³ /t smo]	
kiszonka kukurydzy	20-35	85-95	1,1-2	0,15-0,3	0,2-0,3	170-200	450-700	50-55

⁴ Patrz: <http://www.ble.de> w „Pflanzliche Erzeugnisse – Nachwachsende Rohstoffe”

W chwili obecnej brakuje danych dotyczących organicznych substancji szkodliwych oraz ewentualnych ilości metali ciężkich. Zawartości pierwiastków śladowych, patrz tabela 4-5. W kiszonce kukurydzy raczej nie spotyka się substancji obcych lub zakłóceńowych.

Tabela 4-5: Zawartości substancji mineralnych i pierwiastków śladowych w kiszonce kukurydzy [4-9] [4-10]

podłoże	Ca	P	Na	Mg	K	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Fe
	[% sm]					[mg / kg sm]							
kiszonka kukurydzy	0,18	0,24	0,03	0,12	1,13	0,2	0,5	4,5-5	5	2	35-56	31	67

Przechowywanie kiszonki kukurydzy nie sprawia żadnych problemów, ponieważ można ją umieścić w silosie przejazdowym pod przykryciem folią plastikową. Po zakończeniu fazy kisenia (od 4 do 6 tygodni) kisonka nadaje się bezpośrednio do użytku w instalacji biogazowej.

Chociaż istnieje możliwość jednoskładnikowego odfermentowania kiszonki kukurydzy, to jednak zaleca się odfermentowanie kiszonki jako kosubstratu z gnojowicą. Powoduje to stabilniejszy przebieg procesu, a także podczas kofermentacji możliwe jest uzyskanie wspólnych efektów, które mogą zwiększyć skuteczność rozkładu wzgl. uzysk metanu.

4.1.1.2 Żyto - kisonka z całych roślin zbożowych (GPS)

Przykładem kisonki z całych roślin zbożowych (GPS) w tym miejscu może być żyto. Żyto posiada niskie wymagania co do jakości gleby i klimatu i z tego powodu można je uprawiać na zimniejszych wzgl. mniej żyznych obszarach. W przypadku uprawy jako surowca odnawialnego na obszarach leżących odłogiem obowiązują te same regulacje, jak w przypadku kukurydzy (patrz rozdział 4.1.2.1).

Zbiór ziaren żyta wynosi w przybliżeniu od 5 do 6 t na hektar, stosunek ziarna do słomy wynosi około 1:1,6. Daje to łączny zbiór w ilości od 13 do 15 t suchej masy na hektar [4-11].

Ponieważ żyto można zbierać tylko jeden raz w roku, a więc tylko sezonowo, zakiszenie jest szczególnie uzasadnione, ponieważ umożliwia przez cały rok utrzymanie podłoża o takich samych właściwościach. Tabela 4-6 przedstawia najważniejsze dane dotyczące kisonki żyta:

Tabela 4-6: Właściwości kisonki żyta (całe rośliny)

podłoże	sm	smo	N	NH ₄	P	uzysk biogazu		zawartość CH ₄
	[%]	[% sm]	[% sm]			[m ³ /t sm]	[m ³ /t smo]	[% obj.]
żyto GPS	30-35	92-98	4,0	0,57	0,71	170-220	550-680	około 55

Dane dotyczące stężeń metali ciężkich są obecnie niedostępne, jednak z reguły nie przekraczają dopuszczalnych granic dotyczących artykułów spożywczych.

Całoroczne magazynowanie jest możliwe, jak już wspomniano, poprzez zakiszenie materiału, bez szczególnych wymagań odnośnie higieny lub substancji zakłócających.

4.1.1.3 Buraki

Burak (pastewny lub cukrowy) ze względu na wysoki przyrost masy nadaje się bardzo dobrze do uprawy jako surowiec odnawialny. W przeciwieństwie do żyta, burak posiada specjalne wymagania odnośnie gleby i klimatu, a mianowicie potrzebuje łagodnego klimatu oraz gleby o dużej miąższości i zawartości próchnicy.

Zbiory są różne w zależności od warunków glebowych i w przypadku buraka cukrowego wynoszą od 500 do 600 dt/ha. W przypadku zbiorów buraków pastewnych dochodzą jeszcze różnice wynikające z różnych gatunków. Zbiór buraków pastewnych o zwiększonej masie może wynosić około 900 dt/ha, natomiast pozostałych buraków około 600 do 700 dt/ha [4-11]. W przypadku zbiorów naci buraków występują również różnice w poszczególnych gatunkach. Zależność masy buraka do masy naci w przypadku buraka cukrowego wynosi 1:0,8 a w przypadku buraka pastewnego 1:0,5. Burak o podwyższonej masie posiada zależność buraka względem naci wynoszącą „tylko” 1:0,3-0,4 [4-11]. Pozostałe dane dotyczące substancji, patrz tabele 4-7 i 4-8.

Tabela 4-7: Właściwości buraków i naci [4-12]

podłoże	sm	smo	N	NH ₄	P	uzysk biogazu		zawartość CH ₄
	[%]	[% sm]	[% sm]			[m ³ /t śm]	[m ³ /t smo]	[% obj.]
burak cukrowy	23	90-95	2,6	0,2	0,4	170-180	800-860	53-54
burak z zw. masie	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,3	75-100	620-850	53-54
burak o zw. zawartości	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,4	75-100	620-850	53-54
nać buraka	16	75-80	0,2-0,4	b.d.	0,7-0,9	około 70	550-600	54-55

Tabela 4-8: Zawartości metali ciężkich [4-1]

podłoże	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg sm]					
nać buraka	0,2	<1	10	5	0,5	28

Chociaż brakuje dokładnych wartości o stężeniach metali ciężkich w bulwie buraka, można przyjąć, że są one niskie (patrz również rozdz. 4.2.4). Zdolność rozkładu buraków jest dosyć wysoka, ale tylko pod warunkiem uprzedniego dokładnego rozdrobnienia.

Problemy występują jednak podczas czyszczenia suchego buraków. Resztki ziemi przywierające do buraków muszą być w miarę możliwości całkowicie usunięte, ponieważ w przeciwnym wypadku będą się gromadzić na dnie fermentatora, zajmując cenną przestrzeń do fermentowania. Ponadto przed rozdrobnieniem należy usunąć kamienie.

Z uwagi na fakt, że zarówno buraki, jak i ich nać można zbierać sezonowo, konieczne jest składowanie, aby umożliwić przez cały rok dostęp do podłoża. Składowanie odbywa się przeważnie poprzez zakiszenie rozdrobnionych roślin.

Ponadto należy zwrócić uwagę, że konsystencja papki rozdrobnionych buraków uniemożliwia składowanie w silosie przejazdowym. Z tego powodu należy stosować szczelne zbiorniki.

4.1.1.4 Kiszonka trawy

Uprawa i koszenie trawy wzgl. wykorzystanie kiszonki trawy, podobnie jak w przypadku kukurydzy, nie sprawia żadnych problemów w obróbce mechanicznej. W zależności od warunków atmosferycznych i klimatycznych, rocznie można uzyskać od trzech do pięciu koszeń. Ilość kiszonki trawy, która pozostaje ostatecznie do wykorzystania w instalacjach biogazowych, zależy do wielu czynników. Najważniejszymi z nich są:

- jakość gleby,
- warunki klimatyczne,
- rodzaj i gatunek roślin,
- stopień dojrzałości w chwili koszenia,
- rodzaj konserwacji i składowania.

Z powodu tak wielu czynników nie możemy podać dokładnych danych do tyczących zbioru trawy. Poniżej podaliśmy jedynie charakterystyczne dane substancji (tabela 4-9) oraz zawartości metali ciężkich (tabela 4-10).

Tabela 4-9: Właściwości kiszonki trawy [4-1] [4-13] [4-14]

podłoże	sm	smo	N	NH ₄	P ₂ O ₅	uzysk biogazu		zawartość CH ₄
	[%]	[% sm]	[% sm]			[m ³ /t śm]	[m ³ /t smo]	[% obj.]
kiszonka trawy	25-50	70-95	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8	170-200	550-620	54-55

Tabela 4-10: Zawartości metali ciężkich [4-10]

podłoże	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg sm]					
kiszonka trawy	0,2	1,4	8,1-9,5	2,1	3,9	38-53

Możemy jeszcze wspomnieć, że kiszonka trawy w regionach z chowem krów mlecznych stanowi główny składnik paszy na zimę. Wykorzystanie kiszonki trawy jako surowca do instalacji biogazowych może tu mieć miejsce wyłącznie z użytków zielonych, które nie są potrzebne do pozyskiwania paszy. Do uprawy traw możemy wykorzystać również obszary leżące odłogiem.

4.2 Podłoża pochodzące z przemysłu rolniczego związane z dalszą obróbką

4.2.1 Produkcja piwa

Podczas produkcji piwa powstają różne produkty uboczne, z których wysłodziny stanowią 75%. Na każdy hektolitr piwa przypada około 19,2 kg wysłodzin, 2,4 kg drożdży i osadów drożdżowych, 1,8 kg gorących osadów drożdżowych, 0,6 kg zimnych osadów drożdżowych, 0,5 kg muły ziemi okrzemkowej i 0,1 kg pyłu słodowego [4-15].

W niniejszym rozdziale zajmiemy się bliżej jedynie wysłodzinami, ponieważ stanowią one pod względem ilości najważniejszy składnik.

Należy zaznaczyć, że pozostałe składniki aż do muły ziemi okrzemkowej są tak samo dobre do wykorzystania w instalacjach biogazowych. Mimo to obecnie tylko część pozyskiwanej ilości jest rzeczywiście przydatna, ponieważ produkty wykorzystuje się do innych celów, np. w przemyśle spożywczym (drożdże) lub pasza (wysłodziny, pył słodowy).

Tabela 4-11: Właściwości wysłodzin browarnianych [4-1] [4-15]

podłoże	sm	smo	N	NH ₄	P ₂ O ₅	uzysk biogazu		zawartość CH ₄
	[%]	[% sm]		[% sm]		[m ³ /t sm]	[m ³ /t smo]	[% obj.]
wysłodziny browarniane	20-25	70-80	4-5	b.d.	1,5	105-130	580-750	59-60

Tabela 4-11 przedstawia dane dotyczące wysłodzin. Zawartości substancji szkodliwych patrz tabele 4-12.

Tabela 4-12: Zawartości metali ciężkich w wysłodzinach browarnianych [4-10]

podłoże	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg sm]					
wysłodziny browarniane	0,1-0,2	0,5	15	0,5	0,3	76

Składowanie i obróbka nie stanowią większego problemu. Przy dłuższym składowaniu występują jednak znaczne utraty energii i rozwój pleśni, dlatego też w takich wypadkach zaleca się zakiszenie.

4.2.2 Odzyskiwanie alkoholu

Wywary powstają jako produkt ubocznych przy produkcji alkoholu ze zboża, ziemniaków lub owoców.

Na jeden litr wyprodukowanego alkoholu przypada 12-krotnie większa ilość wywaru, który obecnie znajduje zastosowanie głównie jako pasza bydła lub nawóz [4-15].

Tabela 4-13 przedstawia dane poszczególnych wywarów oraz otrzymywany z nich uzysk gazu, a także zawartości metanu. Są to niekompletne wartości analityczne.

Tabela 4-13: Właściwości wywarów alkoholowych [4-1] [4-15]

	sm	smo	N	P ₂ O ₅	uzysk biogazu		zawartość CH ₄
	[%]	[% sm]	[% sm]		[m ³ /t śm]	[m ³ /t smo]	[% obj.]
wywar zbożowy	6 - 8	83-88	6-10	3,6-6	30-50	430-700	58-65
wywar ziemniaczany	6 - 7	85-95	5-13	0,9	36-42	400-700	58-65
wywar owocowy	2 – 3	około 95	b.d.	0,73	10-20	300-650	58-65

Ogólnie nie ma szczególnych wymagań odnośnie środków higieny, wywary z reguły posiadają tylko śladowe stężenia substancji szkodliwych lub metali ciężkich.

4.2.3 Obróbka ziemniaków (produkcja skrobi)

Podczas produkcji skrobi z ziemniaków oprócz produktu ubocznego w postaci ścieków organicznych powstaje tak zwana wycierka ziemniaczana. Składa się ona głównie z łupin, błon komórkowych i nie zamkniętych komórek skrobi, które pozostają po odzyskaniu skrobi. Na każdą tonę przetworzonych ziemniaków przypada około 240 kg wycierki oraz 760 soku i od 400 do 600 litrów wody procesowej [4-16].

Obecnie część wycierki oddaje się do gospodarstw z przeznaczeniem na paszę, a większa część soku służy za nawóz na polach. Ponieważ przeznaczenie na pasze stanowi tylko niewielką część całej ilości, a rozlewanie soku może doprowadzić do przenawożenia obszarów i zasolenia wody gruntowej, należy poszukać średnioterminowych alternatywnych możliwości zużytkowania.

Jedną z możliwości jest wykorzystanie na potrzeby instalacji biogazowych, ponieważ produkty uboczne stanowią dobrze fermentujące podłoże. Tabela 4-14 przedstawia właściwości substancji.

Tabela 4-14: Właściwości produktów ubocznych przy pozyskiwaniu skrobi

podłoże	sm	smo	N	NH ₄	P ₂ O ₅	uzysk biogazu		zawartość CH ₄
	[%]	[% sm]	[% sm]			[m ³ /t śm]	[m ³ /t smo]	[% obj.]
wycierka (świeża)	około 13	około 90	0,5-1	0,04	0,1-0,2	80-90	650-750	52-65
sok	3,7	70-75	4-5	0,8-1	2,5-3	50-56	1500-2000	50-60
woda procesowa	1,6	65-90	7-8	0,6-0,8	2-2,5	55-65	3000-4500	50-60

Tabela 4-15 przedstawia stężenia pierwiastków śladowych w podłożu. Warto zwrócić uwagę na stosunkowo wysokie zawartości potasu i chlorku, co może być przyczyną zahamowania procesu fermentacji.

Tabela 4-15: Substancje nieorganiczne i pierwiastki śladowe

podłoże	K ₂ O	Ca	Cl	Na	Mg	NO ₃ -N
	[mg/kg śm]					
wycierka ziemniaczana (świeża)	1814	19,3	4,8	262,5	154,1	0,56
sok	5557,8	34,2	1320	39,9	222,1	85,93
woda procesowa	2196	18	235,5	60,1	66,1	14,48

Nie stwierdzono obecności substancji obcych i zakłócających, ponieważ są one oddzielane przed lub w trakcie odzyskiwania skrobi.

Nie przewiduje się specjalnych wymagań odnośnie środków higieny lub składowania ale należy pamiętać, że sok i woda procesowa podczas składowania w zbiornikach wymaga podgrzania w celu przeprowadzenia fermentacji a do tego potrzebne jest użycie dodatkowej energii.

4.2.4 Odzyskiwanie cukru

Podczas obróbki buraków cukrowych w celu wyprodukowania cukru krystalicznego powstają różne produkty uboczne, które głównie są wykorzystywane na paszę dla bydła. Są to przede wszystkim wysłodki świeże, które powstają po rozdrobnieniu buraków i następnie po ekstrakcji cukru, a także melasa, która powstaje podczas oddzielenia kryształów cukru od stężonego syropu cukrowego. Część wysłodek poprzez zmieszanie z melasą i odciągnięcie wody jest przetwarzana do wysłodek melasowych i wykorzystywana na paszę.

Melasa oprócz zastosowania jako pasza może być wykorzystywana jako surowiec w fabrykach drożdży lub w browarach. Chociaż z tego powodu mocno ogranicza się dostępną ilość produktu, to wysłodki buraczane i melasa z uwagi na zawartość cukru stanowią dobry kosubstrat do produkcji biogazu (por. tabele 4-16).

Tabela 4-16: Właściwości wysłodki prasowanej i melasy [4-1] [4-15] [4-17]

podłoże	sm	smo	N	P ₂ O ₅	uzysk biogazu		zawartość CH ₄
	[%]	[% sm]	[% sm]		[m ³ /t śm]	[m ³ /t smo]	[% obj.]
wysłodki prasowane	22 - 26	około 95	b.d.	b.d.	60-75	250-350	70-75
melasa	80 - 90	85-90	1,5	0,3	290-340	360-490	70-75

Jak widać, produkty uboczne pochodzące z przemysłu cukrowniczego nadają się doskonale jako podłoże do instalacji biogazowych. Podłoża z uwagi na wysoką zawartość masy suchej nie nadają się do odfermentowania jednoskładnikowego. W połączeniu z np. gnojowicą stanowią one jednak dobry kosubstrat. Tabela 4-17 przedstawia zawartości metali ciężkich w produktach ubocznych.

Tabela 4-17: Zawartości metali ciężkich [4-18]

podłoże	Cd	Cr	Hg	Mn	Zn	Sn	Ni	Cu	Fe
	[mg/kg śm]								
wysłodki prasowane	0,35	4,40	0,01	25,6	22,4	0,16	2,0	4,31	194
melasa	0,12	0,20	<0,01	29,6	32,0	0,18	2,99	2,69	32,3

Występowanie substancji obcych lub szkodliwych można praktycznie wykluczyć pod warunkiem przeprowadzenia procesu odcukrzania. Obecnie nie przewiduje się żadnych szczególnych wymagać odnośnie higieny przy składowaniu i wykorzystaniu.

Wysłodki prasowane zakisza się w celu uzyskania większej trwałości, melasa jest składowana w odpowiednich zbiornikach. Jest to konieczne w kontekście sezonowej dostępności buraków cukrowych wzgl. produktów ubocznych (od września do grudnia), aby zagwarantować całoroczną dostawę.

4.2.5 Produkty uboczne obróbki owoców

Podczas przetwarzania winogron i owoców przy produkcji wina i soku owocowego, powstają produkty uboczne zwane wytlókami. Z uwagi na dużą zawartość cukru są one szczególnie zalecane jako surowiec do produkcji alkoholu.

Wytlóki znajdują również zastosowanie jako pasza dla bydła lub surowiec podstawowy do produkcji pektyny. Na jeden hektolitr wina wzgl. soku owocowego przypada około 25 kg wytlóków, a na jeden hektolitr nektaru owocowego prawie 10 kg wytlóków [4-15]. Najważniejsze dane dotyczące substancji, patrz tabele 4-18 i 4-19.

Tabela 4-18: Właściwości wytlók [4-1] [4-15]

podłoże	sm	smo	N	P	uzysk biogazu		zawartość CH ₄
	[%]	[%smo]	[% sm]		[m ³ /t śm]	[m ³ /t smo]	[% obj.]
wytlóki jabłkowe	25-45	85-90	1,1	0,3	145-150	660-680	65-70
wytlóki owocowe	25-45	90-95	1-1,2	0,5-0,6	250-280	590-660	65-70
wytlóki winorośli	40-50	80-90	1,5-3	0,8-1,7	250-270	640-690	65-70

Tabela 4-19: Zawartości metali ciężkich w wytlókach [4-1]

podłoże	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg sm]					
wytlóki jabłkowe	0,3	1,6	7,8	b.d.	3,4	6,7
wytlóki owocowe	b.d.	0,06	7,8	3	0,7	25
wytlóki winorośli	0,5	5	150	2,5	b.d.	75

Z uwagi na poprzedzający proces produkcyjny nie stwierdza się występowania substancji obcych lub zakłócających. Nie wymaga się również szczególnych środków higieny. Przy dłuższym składowaniu możliwe jest zakiszenie podłoży.

4.3 Surowce organiczne z obiektów komunalnych i gospodarstw domowych

W tym rozdziale przedstawimy substancje, których co prawda ogólnie nie uważa się za odpad, ale ze względu na pochodzenie organiczne mogą stanowić dobre podłoże do instalacji biogazowych. Uwzględnimy w tym miejscu następujące substancje: biotony ze ścieków komunalnych, resztki żywności i przeterminowane produkty spożywcze, przed wszystkim ze stołówek, odpady sklepowe, odpady rzeźnicze oraz odpady po odtłuszczaniu.

Aby nie dopuścić do rozprzestrzeniania się chorób lub zarazy, w przypadku wymienionych tu grup substancji należy zadbać o szczególne warunki higieniczne. Zostały one ustalone rozporządzeniem w sprawie odpadów pochodzenia biologicznego (BioAbfV) oraz rozporządzeniem WE nr 1774/2002, jak również odpowiednimi przepisami wykonawczymi. Wymienione regulacje ograniczają również wykorzystanie odpadów po fermentacji, umożliwiając to wyłącznie z ważnymi normami.

Skład poszczególnych podłoży jest częściowo zmienny, ponieważ występują substancje pochodzące z różnych klas. Rozpiętość właściwości substancji w szczątkach i odpadkach rzeźniczych, patrz tabele 4-20 i 4-21.

Tabela 4-20: Właściwości surowców organicznych [4-1] [4-14]

podłoże	sm	smo	N	NH ₄	P ₂ O ₅	uzysk biogazu		zawartość CH ₄
	[%]	[% sm]	[% sm]			[m ³ /t śm]	[m ³ /t smo]	
biotony	40-75	50-70	0,5-2,7	0,05-0,2	0,2-0,8	80-120	150-600	58-65
resztki pożywienia i przeterminowane produkty spożywcze	9-37	80-98	0,6-5	0,01-1,1	0,3-1,5	50-480	200-500	45-61
odpady sklepowe	15-20	80-90	3-5	b.d.	0,8	45-110	400-600	60-65
odtłuszczacze	2-70	75-93	0,1-3,6	0,02-1,5	0,1-0,6	11-450	ok. 700	60-72

Tabela 4-21: Właściwości odpadków rzeźniczych [4-1] [4-14]

podłoże	sm	smo	N	NH ₄	P ₂ O ₅	uzysk biogazu		zawartość CH ₄
	[%]	[% sm]	[% sm]			[m ³ /t śm]	[m ³ /t smo]	
treść żołądkowa (świnie)	12-15	75-86	2,5-2,7	b.d.	1,05	20-60	250-450	60-70
treść zwaczy	11-19	80-90	1,3-2,2	0,4-0,7	1,1-1,6	20-60	200-400	58-62
flotat	5-24	80-95	3,2-8,9	0,01-0,06	0,9-3	35-280	900-1200	60-72

Z uwagi na swoje pochodzenie wymienione tu podłoża posiadają niskie stężenia metali ciężkich (tabela 4-22).

Tabela 4-22: Zawartości metali ciężkich w szczątkach organicznych i odpadkach rzeźniczych [4-1]

podłoże	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg sm]					
biotony	0,3-0,6	7-25	14-21	5,5-10	b.d.	88-105
resztki pożywienia (+ przet. ps)	b.d.	b.d.	7	b.d.	b.d.	67
odtłuszczacze	b.d.	b.d.	44	b.d.	b.d.	290
odpady sklepowe	0,8	8,5	12,2	8,5	4,6	94
treść żołądkowa (świnie)	b.d.	b.d.	49-53	b.d.	b.d.	163-190
treść żwaczy	2	33	5-99	20	20	71-321
flotat	b.d.	b.d.	39-80	b.d.	b.d.	281-380

W zależności od czystości podłoży przed doprowadzeniem do instalacji biogazowej należy usunąć substancje obce i zakłócające, takie jak plastik, kości, taśmy gumowe itp. w celu uniknięcia usterek w działaniu instalacji. Szczególnie w biotonie mogą występować tego rodzaju niepożądane substancje.

Tutaj, inaczej niż przy dotychczas omawianych podłożach, wymagane są surowe wymagania odnośnie dezynfekcji. Dotyczy to w szczególności odpadków rzeźniczych, ponieważ istnieje tu szczególne ryzyko.

Na podstawie obowiązującego od maja 2003 roku rozporządzenia WE 1774 wszystkie niebezpieczne substancje zostały podzielone na trzy kategorie pod względem podejrzenia skażeniem. Obróbka tych podłoży bez uprzedniego przygotowania higienicznego jest niedozwolona. Poza tym stawia się wymagania odnośnie składowania oraz instalacji biogazowych [4-19].

W celu zapewnienia ciągłego rozkładu podłoży, należy zapewnić bakteriom odpowiednią powierzchnię działania. Dlatego też używane podłoża muszą być najpierw dokładnie rozdrobnione i ujednolnione. Jeśli wszystkie te zalecenia zostaną spełnione, surowce organiczne będą dobrymi kosubstratami o relatywnie dobrym uzysku gazu (patrz tabele 4-20 i 4-21).

4.4 Zieleń i trawa

Podczas pielęgnacji parków i pasów zieleni przy ulicach zbierane są duże ilości skoszonej zieleni i trawy. Ponieważ ten materiał jest dostępny tylko sezonowo, w celu zapewnienia całorocznego zapasu jako podłoże biogazowe, musi być zakiszony. Z powodu rozrzucenia na dużym obszarze nie zawsze jest to działanie uzasadnione, ponieważ koszty zebrania są za wysokie.

Pomijając ten problem, jest to dobry kosubstrat do poddania go fermentacji, natomiast z powodu wysokiej zawartości substancji suchej nie nadaje się do użytku jako monosubstrat.

Tabele 4-23 i 4-24 przedstawiają niektóre ważne dane substancji oraz zawartość metanu.

Tabela 4-23: Właściwości zieleni po skoszeniu [4-1] [4-15]

podłoże	sm	smo	N	P	uzysk biogazu		zawartość metanu
	[%]	[% sm]	[% sm]		[m ³ /t śm]	[m ³ /t smo]	[% obj.]
skoszona zieleń	około 12	83-92	2-3	1,5-2	150-200	550-680	55-65

Tabela 4-24: Zawartości metali ciężkich w skoszonej zieleni [4-1]

podłoże	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg sm]					
skoszona zieleń	0,7-2,1	4-9	10-21	1-9	70	8

Obróbka z wyjątkiem wspomnianych trudności logistycznych nie sprawia problemów przy zakiszeniu. Ewentualnie materiał przez doprowadzeniem do instalacji biogazowej może wymagać oczyszczenia z substancji zakłócających (gałęzie, kamienie) oraz ujednolodnienia. Nie przewiduje się zastosowanie szczególnych środków higieny.

4.5 Spis literatury

- [4-1] KTBL Arbeitspapier 249 – Kofermentation; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft – KTBL; Darmstadt 1998
- [4-2] KTBL Taschenbuch Landwirtschaft 2002/03; 21 wyd.; Darmstadt; 2002
- [4-3] „Zur einheitlichen Ableitung von Schwermetallgrenzen in Düngemitteln”; Workshop, Umweltbundesamt; Berlin 2002
- [4-4] Weiland, P.: Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und –erzeugung in Deutschland; Gülzoer Fachgespräche, tom 15: Energetische Nutzung von Biogas: „Stand der Technik und Optimierungspotenzial”; str. 8-27; Weimar 2000
- [4-5] Rozporządzenie (WE) nr 1251/1999; Komisji; Brüssel 1999
- [4-6] Rozporządzenie (WE) nr 2461/1999; Komisji; Brüssel 1999
- [4-7] Merkblatt zur Verwendungskontrolle Nachwachsender Rohstoffe in hofeigenen Biogasanlagen; Federalne Ministerstwo Gospodarki Rolnej i Żywnienia (BLE); Frankfurt/M. 2002
- [4-8] Merkblatt zur Verwendungskontrolle Nachwachsender Rohstoffe in nicht hofeigenen Biogasanlagen; Federalne Ministerstwo Gospodarki Rolnej i Żywnienia (BLE); Frankfurt/M. 2002
- [4-9] LUFA Oldenburg: Maissilagequalität; Pobranie z dnia 17.03.2003, <http://www.lufa-oldenburg.de/maissilage.htm>
- [4-10] Endbericht zum Projekt „Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Produktionsbetrieben” (w przygotowaniu); Federalne Ministerstwo Środowiska; Berlin 2003
- [4-11] Dörfler, H. (Hrsg.): Der praktische Landwirt; 4. wyd.; BLV Verl.-Ges., München; 1990
- [4-12] Hassan, E.: Untersuchungen zur Vergärung von Futterrübensilage; BLE-Projekt Az. 99UM031; Abschlußbericht; Federalny Zakład Badawczy Rolnictwa (FAL), Braunschweig; 2001
- [4-13] Keymer, U.: Wirtschaftlichkeit und Förderung von Biogasanlagen; Krajowy Zakład Ekonomiki Przemysłu i Struktury Agrarnej, München; <http://www.regierung.niederbayern.bayern.de/wirfuersie/biogas/UlrichKeymer.pdf>, Pobranie z dnia 29.08.2003
- [4-14] Schattner, S.; Gronauer, A.: Methanbildung verschiedener Substrate – Kenntnisstand und offene Fragen; z: Gülzower Fachgespräche, tom 15: „Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial”; str. 28-38, Weimar, 2000

[4-15] Wilfert, R.; Schattauer, A.: Biogasgewinnung und –nutzung – Eine technische, ökonomische und ökologische Analyse; DBU-Projekt, 1. opracowanie; Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Leipzig; Federalny Zakład Badawczy Rolnictwa (FAL), Braunschweig; 2002

[4-16] Umweltbericht; Emsland-Stärke; Pobranie z dnia 16.09.2002;
<http://www.emsland-staerke.de/d/umwelt.htm>

[4-17] Schnitzel und Melasse – Daten, Fakten, Vorschriften; Stowarzyszenie Przemysłu Cukierniczego; Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 1996

[4-18] Konzept zur Qualität und Produktsicherheit für Futtermittel aus der Zuckerrübenverarbeitung; Broszura; 2. wyd.; Stowarzyszenie Przemysłu Cukierniczego; 2003

[4-19] Rozporządzenie (WE) nr 1774/2002; Zał. VI; Komisji; Brüssel 2000

4.6 Załącznik: Przegląd właściwości podłoży

Tabela 4-25: Zestawienie podłoży

podłoże	ss [%]	oss [% ss]	N	NH ₄ [% ss]	P	uzysk biogazu		zawartość CH ₄ [% obj.]
						[m ³ /t śm]	[m ³ /t oss]	
nawozy naturalne								
gnojowica bydła	8-11	75-82	2,6-6,7	1-4	0,5-3,3	20-30	200-500	60
gnojowica świń	ok. 7	75-86	6-18	3-17	2-10	20-35	300-700	60-70
obornik bydła	ok. 25	68-76	1,1-3,4	0,22-2	1-1,5	40-50	210-300	60
obornik świń	20-25	75-80	2,6-5,2	0,9-1,8	2,3-2,8	55-65	270-450	60
obornik kurzy	ok. 32	63-80	5,4	0,39	b.d.	70-90	250-450	60
surowce odnawialne								
kiszonka kukurydzy	20-35	85-95	1,1-2	0,15-0,3	0,2-0,3	170-200	450-700	50-55
żyto GPS	30-35	92-98	4,0	0,57	0,71	170-220	550-680	ok. 55
burak cukrowy	23	90-95	2,6	0,2	0,4	170-180	800-860	53-54
burak z zw. masie	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,3	75-100	620-850	53-54
burak o zw. zawartości	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,4	75-100	620-850	53-54
nać buraka	16	75-80	0,2-0,4	b.d.	0,7-0,9	ok. 70	550-600	54-55
kiszonka trawy	25-50	70-95	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8	170-200	550-620	54-55
podłoża pochodzące z przemysłu rolniczego związane z dalszą obróbką								
wysłodziny browarniane	20-25	70-80	4-5	b.d.	1,5	105-130	580-750	59-60
wywar zbożowy	6 - 8	83-88	6-10		3,6-6	30-50	430-700	58-65
wywar ziemniaczany	6 - 7	85-95	5-13		0,9	36-42	400-700	58-65
wywar owocowy	2 – 3	ok. 95	b.d.		0,73	10-20	300-650	58-65
wycierka (świeża)	ok. 13	ok. 90	0,5-1	0,04	0,1-0,2	80-90	650-750	52-65
sok	3,7	70-75	4-5	0,8-1	2,5-3	50-56	1500-2000	50-60
woda procesowa	1,6	65-90	7-8	0,6-0,8	2-2,5	55-65	3000-4500	50-60
wysłodki prasowane	22 - 26	ok. 95	b.d.		b.d.	60-75	250-350	70-75
melasa	80 - 90	85-90	1,5		0,3	290-340	360-490	70-75
wytłoki jabłkowe	25-45	85-90	1,1		0,3	145-150	660-680	65-70
wytłoki owocowe	25-45	90-95	1-1,2		0,5-0,6	250-280	590-660	65-70
wytłoki winorośli	40-50	80-90	1,5-3		0,8-1,7	250-270	640-690	65-70

podłoże	ss	oss	N	NH ₄	P	uzysk biogazu		zawartość CH ₄
	[%]	[% ss]		[% ss]		[m ³ /t śm]	[m ³ /t oss]	[% obj.]
surowce organiczne z obiektów komunalnych / odpadki rzeźnicze								
biotony	40-75	50-70	0,5-2,7	0,05-0,2	0,2-0,8	80-120	150-600	58-65
resztki pożywienia i przet. prod. spoż.	9-37	80-98	0,6-5	0,01-1,1	0,3-1,5	50-480	200-500	45-61
odpady sklepowe	5-20	80-90	3-5	b.d.	0,8	45-110	400-600	60-65
tłuszcz z odtłuszczaczy	2-70	75-93	0,1-3,6	0,02-1,5	0,1-0,6	11-450	ok. 700	60-72
treść żołądkowa (świnie)	12-15	75-86	2,5-2,7	b.d.	1,05	20-60	250-450	60-70
treść żwaczy	11-19	80-90	1,3-2,2	0,4-0,7	1,1-1,6	20-60	200-400	58-62
flotat	5-24	80-95	3,2-8,9	0,01-0,06	0,9-3	35-280	900-1200	60-72
zielen i trawa								
skoszona zieleń	ok. 12	83-92	2-3		1,5-2	150-200	550-680	55-65

5 Uzdatnianie gazu i możliwości jego zastosowania

Wykorzystanie biogazu odbywa się przede wszystkim w silnikach spalinowych napędzających generatory prądotwórcze. W przyszłości będzie też istnieć możliwość stosowania biogazu w mikroturbinach gazowych, ogniach paliwowych oraz silnikach Stirlinga. Również i te techniki służą w pierwszej kolejności przetwarzaniu uzyskanego biogazu w energię elektryczną. Dalsza możliwość wykorzystania istnieje w wyłącznym termicznym stosowaniu go w przystosowanych do tego urządzeniach spalających wzgl. kotłach grzewczych. Do opcjonalnych możliwości zastosowania biogazu należą także zastosowanie go jako paliwa do napędzania pojazdów spalinowych lub zasilania przy jego pomocy sieci gazu ziemnego. Ze względu na różne trudności, w chwili obecnej tylko częściowo możliwa jest realizacja poszczególnych sposobów wykorzystania biogazu. Dlatego główny punkt ciężkości niniejszego rozdziału kładziony jest na dzień dzisiejszy w zasadzie tylko na wyłącznie motorycznym wykorzystaniu biogazu do równoczesnego wytwarzania prądu i ciepła przy zastosowaniu sprzężenia mocy i ciepła.

Bezpośrednie wykorzystanie uzyskanego gazu surowego z zasady nie jest możliwe ze względu na obecne w gazie różne, specyficzne dla biogazu składniki jak np. siarkowodór. Z tego powodu biogaz poddawany jest oczyszczaniu, które traktowane jest na początku tego rozdziału jako warunek do możliwości wykorzystania biogazu.

5.1 Uzdatnianie gazu

Biogaz nasycony jest parą wodną i obok metanu (CH_4) oraz dwutlenku węgla (CO_2) zawiera m.in. także śladowe ilości siarkowodoru (H_2S).

Siarkowodór jest toksyczny i ma nieprzyjemny zapach zepsutych jaj. Poprzez połączenie siarkowodoru oraz zawartej w biogazie pary wodnej dochodzi do powstawania kwasu siarkowego. Kwasy działają negatywnie na stosowane do obróbki biogazu silniki jak i dołączone do nich elementy (instalacja gazownicza, instalacja odprowadzająca spaliny itd.).

Z tego powodu w rolniczych instalacjach biogazu przeprowadza się odsiarczanie i wysuszanie uzyskiwanego biogazu. W zależności od zawartych w biogazie domieszek innych substancji lub stosowanej technologii korzystania z biogazu (np. ogniwa paliwowe) może okazać się konieczne przeprowadzenie dalej idącego jego uzdatniania. Producenci elektrociepłowni blokowych stawiają pewne wymagania minimalne wobec właściwości stosowanych paliw gazowych. Zasada ta obowiązuje także przy zastosowaniu biogazu. Właściwości paliwa gazowego powinny zostać zachowane, by uniknąć wzmożonej częstotliwości konserwacji lub uszkodzenia silników. Przykład takich minimalnych właściwości stosowanego paliwa gazowego został przedstawiony w tabeli 5-1.

Tabela 5-1: Właściwości minimalne paliw gazowych, odnośna zawartość tlenu 5 % [5-1]

Wartość grzewcza (najniższa wartość grzewcza)	Hu	$\geq 4 \text{ kWh/m}^3$
Zawartość siarki (łącznie)	S	$\leq 2,2 \text{ g/m}^3 \text{ CH}_4$
lub zawartość H_2S	H_2S	$\leq 0,15 \text{ \% obj.}$
Zawartość chloru (łącznie)	Cl	$\leq 100,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
Zawartość fluoru (łącznie)	F	$\leq 50,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
Suma chloru i fluoru	(Cl + F)	$\leq 100,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
Opary olejowe (>C5)		$\leq 0,4 \text{ g/m}^3 \text{ CH}_4$
Pyły (3... 10 μm)		$\leq 10,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
Wilgotność względna (przy najniższej temperaturze powietrza zasysanego, tzn. bez kondensacji w rurze doprowadzającej oraz odcinku regulowanym przepływu gazu)	φ	< 90 %
Ciśnienie przepływu przed wejściem do regulowanego odcinka przepływu gazu	pGas	20 ... 100 mbar
Wahania ciśnienia gazu		< $\pm 10 \text{ \%}$ danej wartości (błąd pomiaru)
Temperatura gazu	T	10 ... 50°C
Węglowodory (>C5)		< 0,4 mg/m ³ CH ₄
Krzem (przy Si > 5 mg/m ³ CH ₄ przestrzegać analiz pod kątem zawartości metali < 15 mg/kg oleju)	Si	< 10,0 mg/m ³ CH ₄
Zawartość metanu (biogaz MZ ok. 135)	MZ	>135

5.1.1 Odsiarczanie

Podczas odsiarczania stosowane są różne procesy. Można rozróżniać pomiędzy biologicznymi, chemicznymi i fizykalnymi procesami odsiarczania.

Obok składu bardzo istotną rolę odgrywa stopień przepływu biogazu przez instalację do odsiarczania. Stopień przepływu może się znacząco wahać w zależności od kierowania procesem. Po napełnieniu fermentatora świeżym substratem oraz podczas działania mieszalników można zaobserwować czasowo występujące, szczególnie wysokie współczynniki uwalniania się biogazu i związane z tym wysokie współczynniki jego przepływu. Krótkotrwale mogą wystąpić współczynniki przepływu leżące 50 % powyżej wartości średniej. Aby zagwarantować niezawodne odsiarczenie, konieczne jest stosowanie instalacji do odsiarczania ponadnormalnych rozmiarów.

5.1.1.1 Odsiarczanie biologiczne w fermentatorze

Odsiarczanie biologiczne przeprowadzane jest często w fermentatorze. W celu przeprowadzenia odsiarczania biologicznego konieczna jest obecność tlenu oraz bakterii *Sulfobacter oxydans*. Bakteria ta w obecności tlenu zamienia siarkowodor w proste związki siarki.

W tym celu potrzebuje substancji odżywczych, które w wystarczającej ilości znajdują się w fermentatorze. Bakterie te są wszechobecne, dlatego nie istnieje konieczność oddzielnego ich dodawania. Potrzebny tlen doprowadzany jest do fermentatora poprzez



wdmuchiwanie powietrza, na przykład przy pomocy niewielkiego kompresora. Właściwości biologicznego odsiarczania w fermentatorze przedstawia tabela 5-2, przykład przedstawiony został na rysunku 5-1.

Rysunek 5-1: Regulacja gazu dla dmuchawy powietrza do przestrzeni fermentatora na gromadzenie się gazu; zdjęcie: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH

Tabela 5-2: Parametry oraz dane dotyczące zastosowania odsiarczania biologicznego w fermentatorze

Parametry	dopływ powietrza ok. 3-5 % ilości uwalnianego biogazu
Zastosowanie	wszystkie fermentatory z przestrzenią na gromadzenie się gazu nad fermentatorem, najlepiej przy fermentatorach ze zbiornikiem gazu nad fermentatorem
Zalety	+ bardzo korzystne cenowo + technologia wymagająca mało konserwacji oraz rzadko się psująca
Wady	- brak orientacji w faktycznie uwolnionej ilości siarkowodoru - brak możliwości precyzyjnej optymalizacji procesu rozkładu siarkowodoru - możliwe jest wpłynięcie na cały proces oraz utlenianie metanu poprzez doprowadzenie tlenu - silna korozja wszystkich elementów konstrukcji w przestrzeni przeznaczonej na zbieranie się gazu - wahania temperatury w przestrzeni przeznaczonej na zbieranie się gazu uzależnione od pory dnia oraz roku mogą wpływać negatywnie na proces odsiarczania - nie można reagować na wahania w ilości uwalnianego gazu
Cechy szczególne	Powinny być obecne lub dodatkowo stworzone powierzchnie narostowe dla bakterii siarkowych, ponieważ z reguły powierzchnie, którymi się dysponuje nie starczą dla procesu odsiarczania, przede wszystkim nadają się konstrukcje drewniane jak np. strop belkowy

Cechy szczególne	• Optymalizacja możliwa jest poprzez regulację dopływu powietrza do reaktora oraz ciągle dokonywanie pomiarów siarkowodoru
Formy budowy	• Niewielki kompresor lub pompka akwarystyczna z podłączonym zaworem regulacyjnym oraz wskaźnikiem przepływu do ręcznego sterowania przepływem gazu
Konserwacja	• konieczna sporadycznie

5.1.1.2 Odsiarczanie biologiczne poza fermentatorem

W celu uniknięcia wskazanych powyżej wad odsiarczanie biologiczne może zostać przeprowadzone także poza fermentatorem. W tym celu niektóre firmy oferują w oddzielnych pojemnikach już urządzone zestawy do odsiarczania biologicznego. Dzięki takiemu rozwiązaniu istnieje możliwość dokładniejszego zachowania koniecznych dla procesu odsiarczania odpowiednich warunków brzegowych jak np. dopływ powietrza wzgl. tlenu. By zwiększyć działanie nawozowe sfermentowanego substratu, można odpowiednią ilość siarki doprowadzić ponownie do sfermentowanego substratu na składowisku resztek po fermentacji w zbiorniku osadów pofermentacyjnych. Parametry oraz dotyczące zastosowania zewnętrznych instalacji biologicznego odsiarczania zostały ujęte w tabeli 5-3. Przykłady zostały przedstawione na rysunku 5-2.

Tabela 5-3: Parametry oraz dane dotyczące zastosowania zewnętrznych instalacji biologicznego odsiarczania.

Parametry	• wydajność oczyszczania możliwa wydajność oczyszczania ponad 99% (np. z 6000 ppm na <50 ppm) • dostępność technologii dla instalacji biogazu każdej wielkości
Zastosowanie	• wszystkie systemy uzyskiwania biogazu
Zalety	+ możliwe wymiarowanie do faktycznie uwolnionej ilości siarkowodoru. + możliwa precyzyjna zautomatyzowana optymalizacja procesu rozkładu siarkowodoru poprzez zarządzanie dopływem składników odżywczych, powietrza oraz temperaturą + brak wpływu na proces przez doprowadzenie tlenu + uniknięcie silnej korozji elementów konstrukcyjnych w przestrzeni do zbierania się gazu w fermentatorze + brak konieczności stosowania chemikaliów + przy odpowiednich wymiarach krótkie wahania w ilości gazu nie mają negatywnego wpływu na jakość gazu
Wady	- dodatkowy, związany z kosztami agregat - konieczność przeprowadzania dodatkowych konserwacji
Cechy szczególne	• zewnętrzne instalacje do odsiarczania

Formy budowy	jako kolumny, kotły lub kontenery z tworzywa sztucznego lub stali, wolnostojące, wypełnione odpowiednimi ciałami nośnymi, częściowo przy pomocy płukania zwrotnego emulsją z mikroorganizmów
Konserwacja	częściowo należy uzupełniać w większych odstępach czasu biologiczne emulsje z mikroorganizmów lub wymieniać ciała nośne



Rysunek 5-2: Zewnętrzne instalacje biologicznego odsiarczania, na prawo obok zbiornika gazu; Zdjęcia: S&H GmbH & Co. Umweltengineering KG

5.1.1.3 Odsiarczanie chemiczne w fermentatorze

Podczas odsiarczania chemicznego w procesie fermentacji do substratu zostaje dodana substancja chemiczna, która wiąże się chemicznie z siarką i uniemożliwia tym samym uwalnianie się siarkowodoru. Substancja ta nie będzie niewykorzystana, gdyż będzie się ona znajdowała ponownie w sfermentowanym substracie [5-3]. Parametry dotyczące chemicznego odsiarczania zostały przedstawione w tabeli 5-4.

Tabela 5-4: Parametry dla wewnętrznego odsiarczania chemicznego; według [5-5]

Parametry	- substancje chemiczne, do wytrącania mogą zostać zastosowane sole żelaza (chlorek żelaza III, chlorek żelaza II), nadaje się także ruda darniowa - zużycie np. 0,023 litra chlorku żelaza III na m³ biogazu
Zastosowanie	wszystkie systemy z fermentacją moką
Zalety	+ bardzo dobre współczynniki oddzielania + nie jest konieczny żaden dodatkowy agregat do odsiarczania

Zalety	+ nie powstaje konieczność przeprowadzania dodatkowych konserwacji + możliwe dozowanie w odniesieniu do początkowej masy substratu + brak wpływu na proces przez doprowadzenie tlenu + uniknięcie silnej korozji części konstrukcyjnych w przestrzeni fermentatora na zbieranie się gazu (w porównaniu do wewnętrznego odsiarczania biologicznego) + wahania stopnia uwalniania się gazu nie powodują w biogazie żadnych ubytków jakościowych
Wady	- trudne wymiarowanie w stosunku do zawartości siarki substratów przed obróbką - podwyższenie kosztów bieżących przez ciągłe zużywanie chemikaliów
Cechy szczególne	• odsiarczanie chemiczne w fermentatorze stosowane jest częściowo wówczas, gdy w przestrzeni fermentatora na zbieranie się gazu nie wystarcza odsiarczanie biologiczne. • powstający tak siarczek żelaza może po nawożeniu nim gleby znacząco zwiększyć w niej stężenie żelaza
Formy budowy	• ręczne lub zautomatyzowane dozowanie dzięki zastosowaniu małego urządzenia transportu bliskiego • podawanie jako roztworu lub w formie wytlóczek i ziaren
Konserwacja	• nie jest konieczna konserwacja

5.1.1.4 Odsiarczanie chemiczne poza fermentatorem

Podczas odsiarczania chemicznego przeprowadzane jest oczyszczanie gazu poza fermentatorem przy użyciu ługu (najczęściej wodorotlenek sodu). Właściwości zostały przedstawione w tabeli 5-5.

Tabela 5-5: Parametry oraz dane dotyczące zastosowania zewnętrznych instalacji chemicznego odsiarczania

Parametry	• możliwe przy użyciu ługu sodowego lub wodorotlenku sodu • dostępność systemów dla przepływu gazu pomiędzy 10 a 1200 Nm³/h • w zależności od dostosowania ilości gazu surowego oraz wielkości instalacji możliwy bardzo wysoki stopień oczyszczenia, leżący powyżej 95%
Zastosowanie	• wszystkie systemy uzyskiwania biogazu
Zalety	+ możliwe wymiarowanie w stosunku do faktycznie uwolnionej ilości siarkowodoru. + możliwa precyzyjna optymalizacja wydzielania się siarkowodoru dzięki zarządzaniu ługiem i temperaturą + brak wpływu na proces przez doprowadzenie tlenu

Zalety	+ uniknięcie silnej korozji części konstrukcyjnych w przestrzeni fermentatora na zbieranie się gazu (w porównaniu do wewnętrznego odsiarczania biologicznego) + brak konieczności stosowania chemikaliów + wahania stopnia uwalniania się gazu nie powodują w biogazie żadnych ubytków jakościowych przy ponadnormatywnym odsiarczaniu
Wady	- dodatkowy, związany z kosztami agregat - brak konieczności stosowania chemikaliów - konieczne jest dodawanie świeżej wody w celu rozcieńczenia ługu (nie jest konieczne w przypadku wodorotlenku żelaza) - konieczność przeprowadzania dodatkowych konserwacji
Cechy szczególne	• konieczna jest utylizacja zużytego ługu, ale z chemicznego punktu widzenia jest bezproblemowa (tylko przy ługu sodowym)
Formy budowy	• jako kolumny lub kotły z tworzywa, wolnostojące, wypełnione ciałami nośnymi, z płukaniem zwrotnym ługu
Konserwacja	• należy uzupełniać chemikalia po dłuższych okresach czasu • dzięki wentylacji wodorotlenek sodu może się wielokrotnie regenerować przy zastosowaniu powietrza z otoczenia, jednak silne uwalnianie się ciepła może doprowadzić aż do zapłonu.

5.1.2 Suszenie

Aby chronić agregaty służące do wykorzystania gazu przed wysokim zużyciem, należy z biogazu usunąć parę wodną. Ilość wody wzgl. pary wodnej, jaką może przyjąć biogaz zależna jest od temperatury gazu. Względna wilgotność biogazu wynosi w fermentatorze 100%, tym samym biogaz jest nasycony parą wodną. Przez chłodzenie gazu część pary wodnej oddziela się w formie kondensatu.

Chłodzenie biogazu przeprowadzane jest często w instalacji gazowej. Poprzez zapewnienie podczas budowy instalacji gazowej odpowiedniego kąta nachylenia kondensat zbierany jest we wbudowanym zbiorniku w najniższym punkcie instalacji. Jeśli instalacja poprowadzona jest podziemnie, efekt chłodzenia jest lepszy. Warunkiem należytego chłodzenia biogazu w instalacji gazowej jest jednak wystarczająca do chłodzenia długość tej instalacji. Oprócz pary wodnej z biogazu poprzez kondensat usuwana jest także część innych, niepożądanych składników, jak rozpuszczalne w wodzie gazy i aerozole. Zbiorniki na kondensat muszą być regularnie opróżniane i dlatego musi być do nich zapewniony dobry dostęp. Należy koniecznie zapobiegać zamarzaniu zbiornika na kondensat poprzez uniemożliwiający to montaż.

W niektórych instalacjach osuszanie gazu przez jego schładzanie odbywa się w zasilanych elektrycznie chłodnicach. Dzięki niskim temperaturom poniżej 10 °C, panującym w takich warunkach, może zostać oddzielona duża ilość wilgoci.

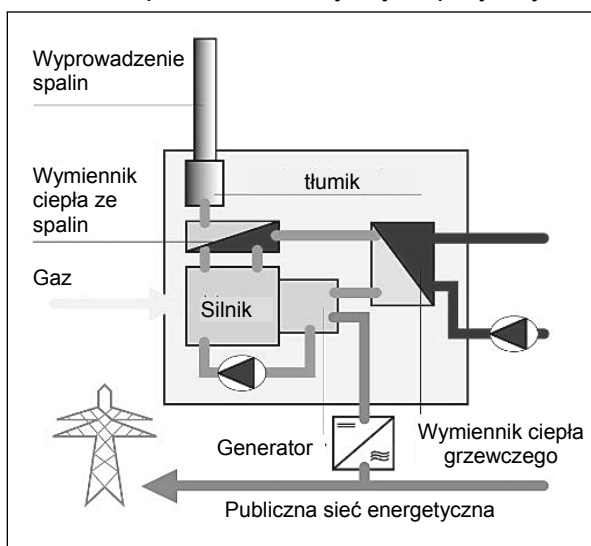
W celu minimalizacji względnej wilgotności powietrza, jednak nie absolutnej wilgotności powietrza, gaz może zostać po schłodzeniu ponownie podgrzany, przez co można zapobiec tworzeniu się kondensatu w dalszych odcinkach instalacji gazowej.

5.2 Wykorzystanie przez sprzężenie mocy i ciepła

Pod pojęciem sprzężenia mocy i ciepła (KWK) rozumie się jednoczesne wytwarzanie mocy (wzgl. prądu) i ciepła. W tym celu wykorzystywane są elektrociepłownie blokowe (BHKW) wyposażone w silniki spalinowe połączone z generatorem. Silniki pracują na stałych obrotach (1500 obr./min.), aby bezpośrednio do nich podłączony generator wytwarzał energię elektryczną kompatybilną z częstotliwością sieci. W celu napędzania generatora wzgl. do wytwarzania energii elektrycznej, można jako alternatywę do zwykłych silników napędzanych gazem o zapłonie samoczynnym lub iskrowym wykorzystać mikroturbiny gazowe, silniki Stirlinga lub ogniwa paliwowe. Jednakże w związku z tym, że technologie te znajdują się w znacznym stopniu jeszcze w fazie rozwoju i prototypów, zostaną tu przedstawione przede wszystkim elektrociepłownie blokowe wyposażone w silnik spalinowy.

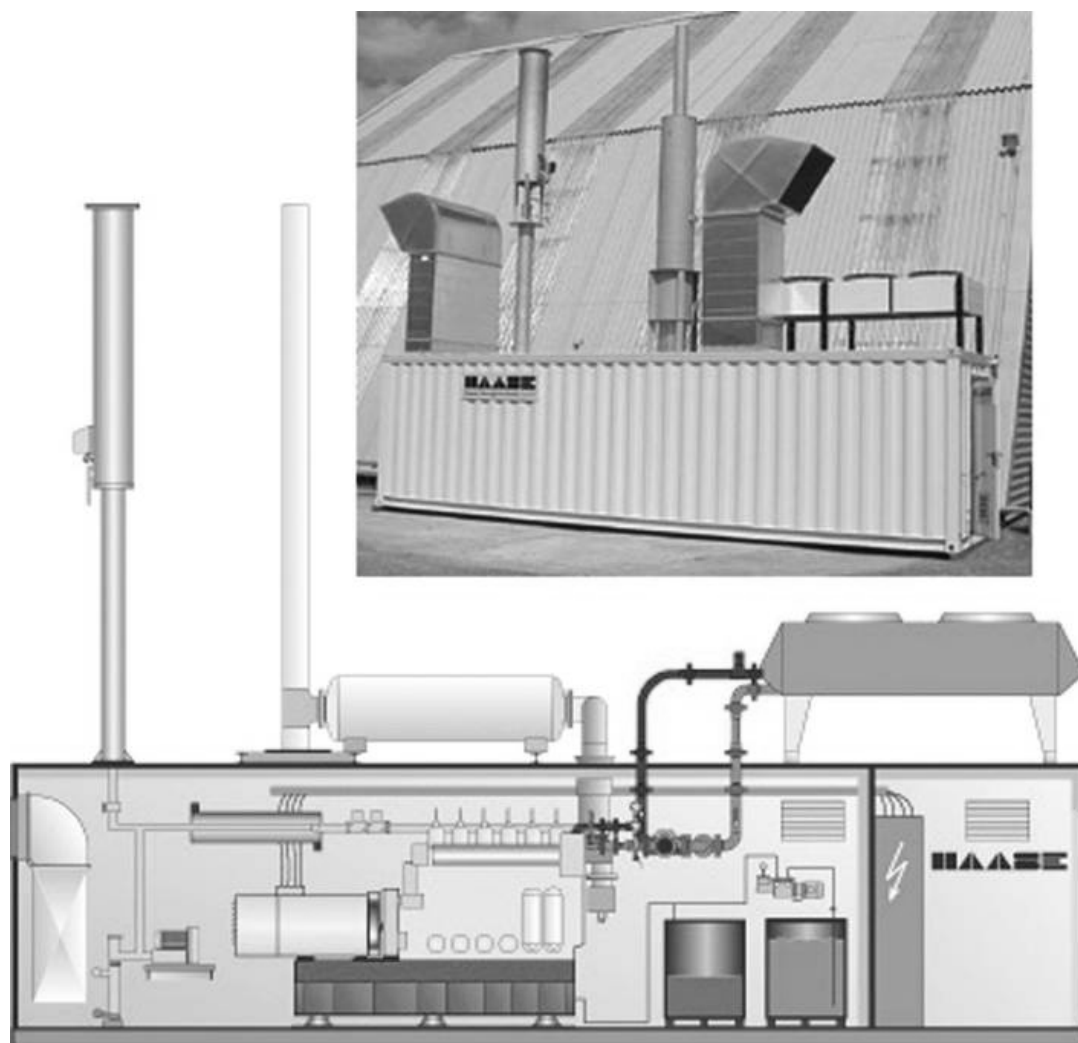
5.2.1 Elektrociepłownie blokowe z silnikami spalinowymi

Moduł BHKW składa się oprócz silnika spalinowego i przystosowanego do niego generatora z systemów wymienników ciepła do odzyskiwania energii cieplnej z obiegu spalin, chłodniczego oraz smarującego, z urządzeń hydraulicznych do podziału ciepła oraz urządzeń sterujących i przełączających do podziału energii elektrycznej oraz sterowania elektrociepłownią. Jako silniki stosowane są gazowe silniki Otto, silniki Diesla i silniki o zapłonie samoczynnym, przy czym te ostatnie stosowane są najczęściej. Gazowe



silniki Diesla (silniki gazowe na bazie przerobionego ogólnodostępnego bloku silnika Diesla, por. rozdz. 5.2.1.1) oraz gazowe silniki Otto napędzane są zgodnie z zasadą Otto bez dostarczania dodatkowego oleju na potrzeby zapłonu, różnica leży jednak w sprężaniu. Dlatego też oba silniki w dalszej części tekstu nazywane będą silnikami gazowymi. Schematyczna budowa elektrociepłowni blokowej na biogaz oraz przykłady przedstawione zostały na rysunku 5-3 i rysunku 5-4.

Rysunek 5-3: Schematyczna budowa elektrociepłowni blokowej;
Schemat: ASUE



Rysunek 5-4: Elektrociepłownia blokowa na biogaz, kompletny moduł zbudowany w sposób kompaktowy z pochodnią awaryjną; rysunek: Haase Energietechnik AG

5.2.1.1 Gazowe silniki Otto

Gazowe silniki Otto są silnikami skonstruowanymi specjalnie do napędzania gazem i pracują według zasady Otto. W celu minimalizacji emisji tlenków azotu używane są jako silniki ubogomieszkankowe z dużym nadmiarem powietrza. Przy użytkowaniu ubogomieszkankowym w silniku może zostać spalone mniej paliwa, co prowadzi do zmniejszenia mocy silnika. Wyrównywane jest to poprzez doładowanie silników turbosprężarką napędzaną gazami spalinowymi. Silniki gazowe Otto muszą działać przy najniższej zawartości metanu w biogazie wynoszącej 45%. Przy zawartości metanu poniżej tej wartości wyłączają się.

W mniejszych silnikach do granicy około 100 kW_{el} stosowane są bloki silnikowe, które skonstruowane zostały jako silniki Otto. Przy wyższej mocy elektrycznej stosowane są przerobione agregaty Diesla wyposażane w świece zapłonowe. Oba rodzaje silników nazywane są tu gazowymi silnikami Otto, gdyż pracują według zasady Otto.

W sytuacji braku biogazu, gazowe silniki Otto mogą być również napędzane innymi rodzajami gazu jak np. gazem ziemnym [5-1].

Może to być przydatne w rozruchu instalacji biogazu, aby przy pomocy ciepła odlotowego uzyskać ciepło konieczne dla całego procesu. Obok odcinka regulowanego przepływu biogazu musi zostać zainstalowany dodatkowy odcinek na gaz zastępczy.

Istotne parametry gazowych silników Otto, które mają wpływ przy zastosowaniu biogazu zostały przedstawione w tabeli 5-6.

Tabela 5-6 : Parametry i dane dotyczące zastosowania gazowych silników Otto

Parametry	• moc elektryczna do >1 MW, rzadko spotykane poniżej 100 kW • współczynniki sprawności elektrycznie 34-40% (przy elektrycznych mocach znamionowych >300 kW) • żywotność: ok. 60.000 roboczogodzin • stosowane od zawartości metanu wynoszącej ok. 45%
Zastosowanie	• zasadniczo wszystkie instalacje biogazu, opłacalne zastosowanie raczej w większych instalacjach
Zalety	+ skonstruowane specjalnie dla wykorzystania gazu + wymogi dotyczące emisji zostaną z pewnością zachowane + znikome nakłady na konserwację + ogólna ocena skuteczności działania jest wyższa niż w przypadku silników o zapłonie samoczynnym
Wady	- lekko podwyższone koszty w stosunku do silników o zapłonie samoczynnym - wyższe koszty z powodu wytwarzania w niewielkich ilościach - niższy elektryczny współczynnik sprawności w dolnych zakresach mocy niż przy silnikach o zapłonie samoczynnym
Cechy szczególne	• na wypadek przegrzania przy małym zapotrzebowaniu na ciepło należy przewidzieć awaryjny układ chłodzenia • zależna od jakości gazu regulacja mocy jest możliwa i zalecana
Formy budowy	• jako samodzielnie stojący w budynku agregat lub o budowie kompaktowej w kontenerze
Konserwacja	• patrz rozdział na temat konserwacji

5.2.1.2 Silniki o zapłonie samoczynnym

Silniki o zapłonie samoczynnym działają według zasady Diesla. Stosuje się tu często silniki pochodzące z ciągników siodłowych i ciężarówek. Nie zawsze są one konstruowane do napędzania gazem i są częściowo poprzez modyfikacje dopasowywane do napędzania tym paliwem. Biogaz mieszany jest przy pomocy mieszalnika gazu z powietrzem i zapalany przy pomocy doprowadzonego instalacją wtryskową do komory spalania oleju. Ustawienia są z reguły dokonywane w taki sposób, by udział oleju służącego do zapłonu wynosił maksymalnie 10% doprowadzonej mocy paliwa.

Dzięki relatywnie niewielkiej ilości wtryskiwanego oleju istnieje z powodu brakującego chłodzenia dysz wtryskowych niebezpieczeństwo, że ulegną one zakoksovaniu [5-1] i tym samym szybszemu zużyciu. Również silniki o zapłonie samoczynnym napędzane są ze znaczną nadwyżką powietrza. Regulacja obciążenia odbywa się przez regulację doprowadzanego oleju lub ilości gazu.

W sytuacji braku zasilania biogazem silniki o zapłonie samoczynnym mogą być napędzane czystym olejem do zapłonu lub olejem napędowym. Przetworzenie silnika na paliwa zastępcze jest bezproblemowe i może być konieczne do rozruchu instalacji biogazu w celu uzyskania odpowiedniego ciepła dla przebiegu procesu.

Jako olej zapłonowy stosowany jest obecnie z reguły olej napędowy lub olej opałowy. Jako alternatywa w rozumieniu wykorzystywania energii odnawialnych może być stosowany ester metylowy rzepaku (biodiesel) oraz olej roślinny. Od 2006 roku zastosowanie odnawialnego oleju do zapłonu (ester metylowy rzepaku lub uznana według EEG [ustawy o odnawialnych źródłach energii] biomasa) zostanie nawet nakazane zgodnie z aktualnym projektem ustawy o odnawialnych źródłach energii. Przy zastosowaniu danych silników należy przestrzegać wymogów jakościowych stawianych przez ich producentów, jednocześnie należy pamiętać o tym, że nie wszyscy producenci silników dają pełną gwarancję przy zastosowaniu biodiesla jako oleju służącego do zapłonu. Zaletą odnawialnych olejów do zapłonu są niewielkie ilości emisji tlenu węgla oraz brak związków siarki. Z ekologicznego punktu widzenia pełne uzyskiwanie energii z odnawialnych nośników, przynoszące zyski dodatkowe wykorzystanie powierzchni rolnych oraz rozkład biologiczny oleju (w przypadku awarii) okazują się czynnikami bardzo pozytywnymi. Z punktu widzenia technologii silnikowej należy liczyć się z wyższym zużyciem filtrów, zapychaniem się dysz oraz niską lepkością oleju roślinnego. Wadą jest w dalszym ciągu wzmożone uwalnianie się podtlenu azotu.

Parametry i dane dotyczące zastosowania dla silników o zapłonie samoczynnym zostały przedstawione w tabeli 5-7.

Tabela 5-7: Parametry i dane dotyczące stosowania silników o zapłonie samoczynnym

Parametry	• do spalania konieczne do 10% udziału oleju • moc elektryczna do ok 250 kW • żywotność: ok. 35 000 roboczogodzin • Współczynniki sprawności elektryczne 30-40% (współczynniki sprawności około 30% tylko w małych instalacjach)
Zastosowanie	• zasadniczo wszystkie instalacje biogazu, opłacalne zastosowanie raczej w większych instalacjach
Zalety	+ korzystne cenowo zastosowanie standardowych silników + podwyższony współczynnik sprawności elektrycznej w dolnym zakresie mocy w porównaniu do gazowego silnika Otto

Wady	- zakokszowywanie się dysz wtryskowych prowadzi do podwyższonego obciążenia spalinami (NO_x) oraz konieczności przeprowadzania częstszych konserwacji - brak rozwoju silników specjalnie do napędzania biogazem - ogólny współczynnik sprawności niższy niż w gazowych silnikach Otto - musi być stosowane dodatkowe paliwo (olej przeznaczony do zapłonu) - emisja substancji szkodliwych przekracza często wartości maksymalne wskazane w odpowiednim rozporządzeniu w sprawie norm zanieczyszczenia powietrza
Cechy szczególne	• na wypadek przegrzania przy małym zapotrzebowaniu na ciepło należy przewidzieć awaryjny układ chłodzenia • zależna od jakości gazu regulacja mocy jest możliwa i zalecana
Formy budowy	• jako samodzielnie stojący w budynku agregat lub o budowie kompaktowej w kontenerze
Konserwacja	• patrz rozdział na temat konserwacji

5.2.1.3 Redukcja substancji szkodliwych oraz oczyszczanie spalin

Stacjonarne instalacje silników spalinowych stosowane do spalania biogazu zostały przez ustawodawcę sklasyfikowane jako wymagające zezwolenia, jeśli ich moc cieplna wynosi 1 MW lub więcej. Rozporządzenie w sprawie czystości powietrza (TA-Luft) przewiduje w tym przypadku wartości maksymalne, które muszą być dotrzymane. Jeśli zainstalowana moc cieplna wynosi mniej niż 1 MW, wówczas mamy do czynienia z instalacją nie wymagającą zezwolenia. W takiej sytuacji wartości wskazane w rozporządzeniu w sprawie czystości powietrza (TA-Luft) stanowią źródło informacji na temat dotrzymywania obowiązków użytkownika instalacji, czyli obowiązku ograniczenia zgodnie z obecnym stanem techniki do minimum nieuniknionych negatywnych oddziaływań na środowisko. Zadanie to realizowane jest przez organy udzielające zezwoleń w różny sposób [5-5]. Wskazane w rozporządzeniu na temat czystości powietrza (TA-Luft) wartości maksymalne przewidują zróżnicowanie na silniki o zapłonie samoczynnym oraz silniki gazowe Otto. W tabeli 5-8 wskazane zostały wymagane przez rozporządzenie w sprawie czystości powietrza (TA-Luft) wartości maksymalne z 30 lipca 2002 r.

Tabela 5-8: Maksymalne wartości emisji według rozporządzenia w sprawie czystości powietrza (TA-Luft) z 30 lipca 2002 r. w odniesieniu do instalacji wyposażonych w silniki spalinowe według nr 1.4 (wraz z 1.1 i 1.2) 4. BimSchV [zarządzenia federalnego w sprawie emisji substancji szkodliwych] [5-6]

Substancja szkodliwa	Jednostka	Gazowe silniki Otto		Silniki o zapłonie samoczynnym	
		< 3 MW	≥ 3 MW	< 3 MW	≥ 3 MW
moc cieplna					
tlenek węgla	mg/m ³	1000	650	2000	650
tlenek azotu	mg/m ³	500	500	1000	500
dwutlenek siarki i trójtlenek siarki podane jako dwutlenek siarki	mg/m ³	350	350	350	350
zapylenie	mg/m ³	20	20	20	20
substancje organiczne: formaldehyd	mg/m ³	60	20	60	60

Uzyskanie dobrze oczyszczonego gazu do spalania może prowadzić do zminimalizowania zawartości substancji szkodliwych w spalinach. Tlenek siarki powstaje na przykład podczas spalania znajdującego się w biogazie siarkowodoru (H₂S). Jeżeli koncentracja niepożądanych substancji śladowych w biogazie jest niska, niska jest także koncentracja ich produktów spalania w spalinach.

W celu minimalizacji emisji tlenku azotu silniki użytkowane są w trybie ubogomieszankowym (por. rozdział 5.2.1.1). Dzięki użytkowaniu ubogomieszankowemu staje się możliwe obniżenie temperatury spalania i zmniejszenie przez to powstawania tlenków azotu.

Z reguły nie stosuje się w elektrociepłowniach blokowych napędzanych biogazem katalizatorów. Zawarte w biogazie domieszki jak np. siarkowodor prowadzą do ich dezaktywacji i zniszczenia.

Użytkowane ubogomieszankowo gazowe silniki Otto dotrzymują w zasadzie bez problemu wskazanych w rozporządzeniu w sprawie czystości powietrza (TA-Luft) wartości maksymalnych. Silniki o zapłonie samoczynnym mają z reguły gorsze wyniki czystości spalin niż gazowe silniki Otto. Przede wszystkim emisje tlenków azotu-(NO_x) oraz tlenku węgla (CO) mogą w określonych warunkach przekroczyć określone w rozporządzeniu w sprawie czystości powietrza (TA-Luft) wartości maksymalne. Przez stosowany do zapłonu silników olej znajdują się poza tym w spalinach cząsteczki sadzy [5-5], [5-7], [5-8].

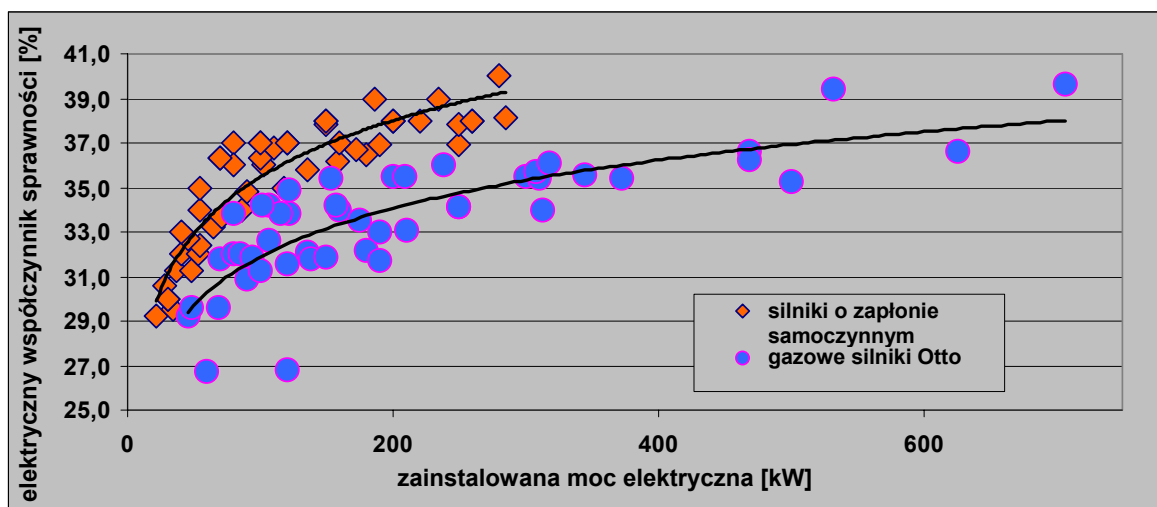
5.2.1.4 Generatory

W przypadku stosowanych w elektrociepłowniach blokowych generatorów można mówić o generatorach synchronicznych i asynchronicznych. Generatory asynchroniczne stosowane są tylko w mniejszych instalacjach z mocą elektryczną do około 100 kW [5-9]. Dlatego w instalacjach biogazu stosuje się z reguły generatory synchroniczne.

5.2.1.5 Elektryczne współczynniki sprawności oraz moc

Współczynnik sprawności elektrociepłowni blokowej jest miarą tego, jak efektywnie wykorzystywana jest doprowadzana do niej energia. Ogólny współczynnik sprawności składa się z sumy elektrycznych i termicznych współczynników sprawności i z reguły wynosi pomiędzy 80 i 90%. Jako przybliżoną wartość dla gazowych silników Otto oraz silników o zapłonie samoczynnym można przyjąć, że elektryczny współczynnik sprawności wynosi $\frac{1}{3}$ a termiczny $\frac{2}{3}$ ogólnego współczynnika sprawności [5-1].

Elektryczny stopień sprawności składa się z mechanicznego współczynnika sprawności silnika oraz współczynnika sprawności generatora i wynika z iloczynu obu współczynników. Elektryczne współczynniki sprawności elektrociepłowni blokowych napędzanych silnikami o zapłonie samoczynnym osiągają wartości pomiędzy 30 i 40% i przynajmniej w dolnym zakresie mocy są wyższe przy jednakowej mocy elektrycznej od elektrociepłowni blokowych napędzanych gazowymi silnikami Otto (rysunek 5-5). Współczynniki sprawności elektrociepłowni blokowych napędzanych gazowymi silnikami Otto leżą pomiędzy 34 a 40%. Wraz ze zwiększającą się mocą elektryczną zwiększają się także współczynniki sprawności zarówno w silnikach o zapłonie samoczynnym, jak i w gazowych silnikach Otto. Ze względu na to, że współczynniki sprawności badane są przez producentów elektrociepłowni blokowych w warunkach stanowiska badawczego (ruch ciągły przy spalaniu gazu ziemnego), wartości osiągane przez instalację biogazu w praktycznym zastosowaniu są przeważnie niższe niż wartości podawane przez producenta. W szczególności należy zauważyć, że w praktycznym zastosowaniu tylko sporadycznie urządzenia działają przez krótki okres czasu przy pełnym obciążeniu a współczynniki skuteczności są niższe podczas pracy przy częściowym obciążeniu niż przy pełnym. Ta zależność wiąże się z charakterystyką poszczególnych agregatów i dane z nią związane znajdują się w dokumentacji technicznej. Należy tu jednak pamiętać, iż wskazane w dokumentacji technicznej współczynniki skuteczności zostały ustalone z reguły przy zastosowaniu gazu ziemnego i w warunkach stanowiska badawczego.



Rysunek 5-5: Elektryczny współczynnik sprawności elektrociepłowni blokowych biogazu według danych producenta; według [5-25], rozszerzony

5.2.1.6 Odzyskiwanie ciepła

W celu wykorzystania powstającego podczas produkcji prądu ciepła konieczne jest uwzględnienie odzysku ciepła za pośrednictwem wymiennika ciepła. W elektrociepłowni



Rysunek 5-6: Rozdzielacz ciepła;
zdjęcie: MT-Energie-GmbH

blokowej napędzanej silnikiem spalinowym powstaje ciepło o różnych temperaturach. Największa ilość ciepła może zostać odzyskana za pośrednictwem układu chłodzącego silnika spalinowego. Ze względu na swoją temperaturę ciepło to może zostać użyte do uzyskania energii grzewczej lub wzgl. energii na potrzeby samego procesu. Rysunek 5-6 pokazuje rozdzielacz obiegu grzewczego. By odzyskać ciepło z obiegu chłodzącego stosowane są z reguły płytowe wymienniki ciepła [5-3]. Odzyskane ciepło jest następnie rozprowadzane po obiegach grzewczych za pośrednictwem rozdzielacza.

Wysokość temperatury spalin wynosi około 460 do 550 °C. Do odzyskiwania ciepła ze spalin stosuje się wymienniki ciepła ze spalin zbudowane ze stali szlachetnej, które skonstruowane są najczęściej jako wymiennik płaszczowo-rurowy [5-3].

We własnym zakładzie zapotrzebowanie na ciepło można bardzo szybko pokrywać ciepłem odlotowym elektrociepłowni blokowej. Zapotrzebowanie na ciepło jest wysokie z reguły tylko zimą, natomiast latem większość ciepła musi chłodnica awaryjna uwalniać na zewnątrz. Oprócz wymaganego do podgrzania fermentatora ciepła, które wynosi około 25 do 40% całego ciepła można dodatkowo zaopatrywać w ciepło pomieszczenia zakładowe lub mieszkalne. Elektrociepłownie blokowe są w pełni kompatybilne z powszechnie stosowaną technologią grzewczą i dlatego mogą zostać w łatwy sposób podłączone do sieci grzewczej. Na wypadek awarii elektrociepłowni blokowej powinno się zachować często będący już wcześniej na wyposażeniu kocioł grzewczy. Wykraczające poza to zapotrzebowanie na ciepło uzależnione jest znacząco od struktury zakładu (hodowla świń, hodowla drobiu itp.). Również w celu ułatwienia procesu produkcyjnego, np. usuwania gnoju przydatne może być dodatkowe ogrzewanie podłogowe w oborach, uniemożliwiające zamarzanie gnoju na podłodze. Częstokroć jednak ciepło, którym się dysponuje nie jest jeszcze w znacznym stopniu całorocznie wykorzystane [5-3]. Z tego powodu poszukiwanie odbiorców poza własnym przedsiębiorstwem może prowadzić do ekonomicznego wykorzystania ciepła. Jeśli pojawiają się możliwości sprzedaży ciepła, może okazać się korzystna dla zakładu lepsza izolacja fermentatora lub bardziej efektywne doprowadzanie do niego ciepła. Podejmując się sprzedaży ciepła należy pamiętać jednak o w znacznym stopniu obowiązkowym zachowaniu ciągłości dostaw ciepła mimo konieczności dochowania terminów konserwacji lub też wystąpienia ewentualnych awarii. Potencjalnymi odbiorcami ciepła są znajdujący się w okolicy przedsiębiorcy oraz podmioty komunalne (ogrodnicy, hodowcy ryb, producenci mleka i przetworów mlecznych, suszarnie drewna i inni) bądź domy mieszkalne.

Dobry potencjał na wykorzystanie energii cieplnej stanowią procesy uszlachetniania oraz osuszania wymagające dużej ilości ciepła. Dalszą alternatywę stanowi sprzężenie ciepła, mocy i zimna (patrz rozdział 5.3).

W dalszym wykorzystaniu ciepła upatrywany jest obecnie wielki potencjał, jednak raczej do rzadkości należą do tej pory projekty i rozwiązania możliwe z ekonomicznego punktu widzenia do realizacji. Dzięki sprzedaży energii cieplnej można stworzyć dodatkowe źródła dochodów, które w znaczący sposób mogą się przyczynić do opłacalności całej instalacji.

W przypadku braku odbiorców ciepła należy zapewnić chłodzenie silników elektrociepłowni blokowych w obiegu grzewczym (np. latem), aby uniknąć przegrzania i związanych z tym uszkodzeń. W tym celu do obiegu grzewczego silników montuje się chłodnice awaryjne, dzięki którym niepotrzebne ciepło zostaje uwolnione do otoczenia.

5.2.1.7 Odcinek regulowany przepływu gazu

Aby móc efektywnie korzystać z biogazu, silniki gazowe stawiają pewne wymagania wobec właściwości fizycznych gazu. Dotyczy to w szczególności ciśnienia, pod którym biogaz dostaje się do silnika gazowego (z reguły 100 mbar) jak i zdefiniowany strumień objętości. Jeśli te parametry nie mogą spełnić wymogów, na przykład jeśli w fermentatorze nie wytworzyła się wystarczająca ilość gazu, silniki zostają wyłączone lub przełączone na pracę przy częściowym obciążeniu. Aby w sposób stały dotrzymywać określonych wytycznych oraz wymogów bezpieczeństwa, instaluje się bezpośrednio przed elektrociepłownią blokową odcinek regulowany przepływu gazu.



Rysunek 5-7: Elektrociepłownia blokowa z regulowanym odcinkiem przepływu gazu (rury jasne); Zdjęcie: MT-Energie-GmbH

Odcinek regulowany przepływu gazu wraz z całą instalacją gazową powinien być dopuszczony do użytku zgodnie z wytycznymi Niemieckiego Stowarzyszenia Branży Gazowej i Wodno-Kanalizacyjnej [Deutsche Vereinigung des Gas-und Wasserfaches e.V.] (DGWV). Wszelkie instalacje gazowe muszą być oznakowane żółtą farbą lub strzałkami w kolorze żółtym. Odcinek regulowany musi być

wyposażony w dwa samodzielnie zamykające się zawory (zawory magnetyczne), zawór odcinający poza pomieszczeniem montażu,

zabezpieczenie przeciwwybuchowe oraz czujnik podciśnienia. Dobrym rozwiązaniem jest wbudowanie do instalacji gazowej gazomierza w celu określenia ilości przepływającego gazu, oraz dokładnego filtra w celu wyłapywania znajdujących się w biogazie cząstek.

Jeśli jest to konieczne do instalacji montuje się kompresor. Na rysunku 5-7 widoczny jest przykład regulowanego odcinka przepływu gazu.

Szczególne znaczenie dla budowy instalacji gazowych ma uwzględnienie w nich *urządzeń do spuszczenia kondensatu*, gdyż już nawet małe ilości kondensatu mogą prowadzić do zamknięcia instalacji ze względu na małe ciśnienie gazu.

5.2.1.8 Użytkowanie, konserwacja, serwis i pomieszczenia zamontowania urządzeń

Wykorzystywanie biogazu w elektrociepłowniach blokowych zakłada istnienie określonych warunków ramowych, które muszą być przestrzegane. Oprócz właściwego użytkowania należy przestrzegać także przewidzianych terminów konserwacji oraz wymagań wobec pomieszczenia zamontowania elektrociepłowni blokowej.

Eksploatacja

Instalacje elektrociepłowni blokowych pracują z reguły w sposób w pełni automatyczny dzięki odpowiednim urządzeniom regulującym, kontrolującym i sterującym. Aby móc dokonać oceny użytkowania elektrociepłowni blokowej powinno się w dzienniku eksploatacji zapisywać wskazane dane w formie trendu:

- ilość osiągniętych roboczogodzin,
- ilość rozruchów,
- moc elektryczna,
- temperatura cieczy chłodzącej silnika,
- temperatura cieczy grzewczej wpływającej i wypływającej,
- ciśnienie cieczy chłodzącej,
- ciśnienie oleju,
- temperatura spalin,
- przeciwcisnienie spalin,
- zużycie paliwa,
- wytworzona moc (termiczna i elektryczna).

Dane mogą być z reguły przywołane za pomocą jednostki sterującej elektrociepłownią blokową a następnie udokumentowane. Często realizowane może być sprzężenie sterowania elektrociepłownią blokową z obwodami regulacji instalacji biogazu, jak i wymiana danych z centralnym systemem kierującym wzgl. przekazywanie danych za pośrednictwem modemu, co umożliwia także diagnozowanie przez producenta usterek na odległość. Mimo wszelkich elektronicznych systemów zabezpieczeń, codziennie powinien być przeprowadzany obchód oraz inspekcja całej instalacji.

W elektrociepłowniach blokowych wyposażonych w silniki o zapłonie samoczynnym powinien być dokonywany obok pomiaru zużytej ilości gazu również pomiar ilości zużytego oleju do zapłonu. Aby zapewnić sobie zapłatę za oddany do sieci prąd według EEG [ustawy o odnawialnych źródłach energii *lub* ustawy o oszczędności energii], ilość

doprowadzonej substancji zapłonowej nie może wynosić więcej niż 10% mocy paliwa [5-10]. Może okazać się koniecznym udowodnienie wielkości stosowanej ilości cieczy zapłonowej, co będzie ciężkie do udowodnienia bez zalegalizowanego systemu pomiaru. Wymagania te stawiane są przez operatorów sieci, nie wynikają jednak z podstawy prawnej.

Aby móc wypowiedzieć się na temat termicznego współczynnika sprawności elektrociepłowni blokowej, powinny być przy pomocy ciepłomierza dokonywane także pomiary wytworzonego ciepła obok pomiarowania wyprodukowanej ilości prądu. Poprzez takie rozwiązanie możliwe jest również dokładne wypowiedzenie się na temat potrzebnego dla procesu działania ciepła lub na temat ilości ciepła potrzebnego odbiorcom przyłączonym do obiegu grzewczego elektrociepłowni blokowej (ewent. oborom itd.).

Aby silniki były wystarczająco zaopatrywane w gaz, musi zostać zapewnione odpowiednie ciśnienie przepływu przed wejściem do właściwego odcinka regulowanego przepływu gazu. W sytuacji bezciśnieniowego gromadzenia gazu konieczne jest podwyższenie ciśnienia gazu przy pomocy odpowiednich sprężarek gazu.

Dużą rolę w bezpiecznym użytkowaniu silników odgrywa olej smarujący. Poprzez olej smarujący zostają zneutralizowane powstające w silniku kwasy. Wymianę oleju smarującego należy przeprowadzać w przypadku jego zestarzenia się, zanieczyszczenia i nitrowania wzgl. wskutek ubytku właściwości neutralizujących, w regularnych odstępach czasu w zależności od rodzaju silnika, oleju oraz ilości przepracowanych godzin. Oprócz regularnych odstępów pomiędzy wymianą oleju powinna zostać przed wymianą oleju pobrana jego próbka. Próbka ta powinna zostać zbadana przez specjalistyczne laboratorium. Na podstawie wyników badań laboratoryjnych można ustalić długość wymaganych odstępów pomiędzy wymianami oleju, jak i można dokonać oceny zużycia silnika [5-1]. Aby wydłużyć odstępy pomiędzy wymianami oleju, zostaje często zwiększona ilość stosowanego oleju przez powiększenie miski olejowej, które to miski oferowane są przez wielu producentów.

Konserwacja

Użytkowanie elektrociepłowni blokowej przy wykorzystaniu biogazu zakłada, że przestrzegane będą terminy konserwacji. Zalicza się tu także działania prewencyjne, mające na celu utrzymanie instalacji w ruchu np. wymiana oleju i wymiana zużytych części. Niewystarczająca konserwacja i prace mające na celu utrzymanie instalacji w ruchu mogą doprowadzić do uszkodzenia elektrociepłowni i tym samym spowodować powstanie wysokich kosztów [5-1], [5-11].

Każdy producent elektrociepłowni blokowych udostępnia odpowiedni plan inspekcji i konserwacji. Na podstawie tych planów można stwierdzić, jakie czynności i w jakich odstępach czasowych muszą zostać przeprowadzone w celu utrzymania w ruchu i pielęgnacji poszczególnych modułów. Odstępy czasowe pomiędzy poszczególnymi czynnościami zależne są od czynników takich jak rodzaj silnika itp.

Dzięki szkoleniom oferowanym przez producentów elektrociepłowni istnieje możliwość dokonywania niektórych prac we własnym zakresie. Oprócz planów konserwacji oferowane są także umowy serwisowe. Przed kupnem elektrowni blokowej powinny zostać wyjaśnione wszelkie szczegóły umów serwisowych, przy czym szczególnie powinno się przestrzegać następujących punktów:

- jakie prace będą przeprowadzane przez użytkownika,
- jaka forma umowy zostaje ustalona,
- kto dostarcza materiały użytkowe,
- na jaki okres zostaje zawarta umowa,
- czy umowa uwzględnia przeprowadzenie kontroli generalnej,
- w jaki sposób rozwiązywane będą problemy pozaplanowe.

To, jakie świadczenia będą objęte zakresem umowy serwisowej zależy także od tego, jakie czynności użytkownik będzie wykonywał we własnym zakresie. Specyfikacje i przykładowe umowy serwisowe oraz utrzymania maszyn w ruchu zostały przygotowane przez stowarzyszenie branżowe odpowiedzialne za silniki w VDMA [Stowarzyszeniu Niemieckich Budowniczych Maszyn i Instalacji]. Bazując na tej specyfikacji powstała dyrektywa-VDI [Stowarzyszenia Niemieckich Inżynierów] nr 4680 „Zasady dla elektrociepłowni blokowych przy tworzeniu umów serwisowych”. Tu można zdobyć odpowiednie informacje na temat treści i budowy umów [5-12]. Zgodnie z VDMA mogą zostać zdefiniowane różne formy umów serwisowych.

Umowa o dokonywanie przeglądów obejmuje wszelkie działania podejmowane w celu stwierdzenia i oceny zastanego stanu badanej instalacji. Wynagrodzenie może być wypłacane w formie zryczałtowanej lub mierzone będzie w zależności od nakładu pracy. Należy tu jednak wyjaśnić, czy przeglądy dokonywane są jednorazowo, czy też odbywać się będą regularnie.

Umowa o konserwację zawiera w sobie wszelkie działania konieczne do utrzymania przedmiotu umowy w należyтым stanie. Czynności do przeprowadzenia powinny być spisane na liście, która będzie stanowiła część umowy. Czynności mogą być przeprowadzane okresowo lub zależeć od stanu przedmiotu umowy. Strony umowy mogą ustalić wynagrodzenie zryczałtowane lub zależne od nakładu pracy. W zależności od ustaleń umownych w skład świadczeń może wejść także usuwanie zakłóceń, których użytkownik nie może usunąć we własnym zakresie.

Umowa o rozruch obejmuje wszelkie konieczne działania mające na celu przywrócenie należytego stanu. Czynności, jakie mają zostać przeprowadzone zależne są od konkretnej sytuacji i danych warunków. Wynagrodzenie ustalane jest tu z reguły w zależności od poczynionego nakładu pracy [5-12].

Umowa o utrzymanie w ruchu, zwana też umową o pełną konserwację obejmuje działania, które są konieczne do utrzymania bezpiecznego funkcjonowania zakładu (prace konserwacyjne i naprawcze, instalacje zastępcze oraz surowce i materiały pomocnicze poza paliwem).

Tak zwany remont kapitalny zawarty jest także w umowie ze względu na czas jej trwania (z reguły 10 lat). Umowa ta w największym zakresie odpowiada świadczeniom gwarancyjnym. Wynagrodzenie wypłacane jest tu najczęściej w formie zryczałtowanej [5-12].

Żywotność silników o zapłonie samoczynnym wynosi średnio 35000 roboczogodzin [5-13], co przy 8000 roboczogodzin w roku odpowiada czasowi ok. $4\frac{1}{2}$ roku. Po tym czasie konieczne jest przeprowadzenie remontu kapitalnego, przy czym najczęściej wymieniany jest cały silnik, gdyż ze względu na niską cenę zakupu silnika, jego remont jest nieopłacalny. W przypadku silników gazowych Otto można przyjąć, że ich żywotność wynosi 45000 roboczogodzin wzgl. około $5\frac{1}{2}$ roku. Po tym czasie przeprowadzany jest remont kapitalny silnika. Wymieniane są wówczas prawie wszystkie części oprócz bloku silnika oraz wału korbowego. Po remoncie kapitalnym można oczekiwać jednakowego okresu użytkowania [5-12]. Żywotność zależy jest m.in. w znacznym stopniu od pielęgnacji oraz konserwacji silników, dlatego okresy te mogą znacząco się zmieniać.

Pomieszczenia zamontowania urządzeń

Elektrociepłownie blokowe powinny być instalowane w przystosowanych do tego celu budynkach. W celu zmniejszenia emisji hałasu budynki powinny zostać wyłożone materiałem dźwiękochłonnym a moduły elektrociepłowni powinny być wyposażone w odpowiednie pokrywy dźwiękochłonne. Oprócz wystarczającej ilości miejsca dla prac konserwacyjnych należy zwrócić uwagę na wystarczającą wentylację, by zapewnić dostęp należytej ilości powietrza do silników. Koniecznym tu może być zastosowanie odpowiednich dmuchaw powietrza dolotowego i odlotowego. Dalsze szczegółowe wymagania wobec pomieszczeń, w których instalowane będą elektrociepłownie blokowe znajdują się w zasadach bezpieczeństwa dla rolniczych instalacji biogazu.



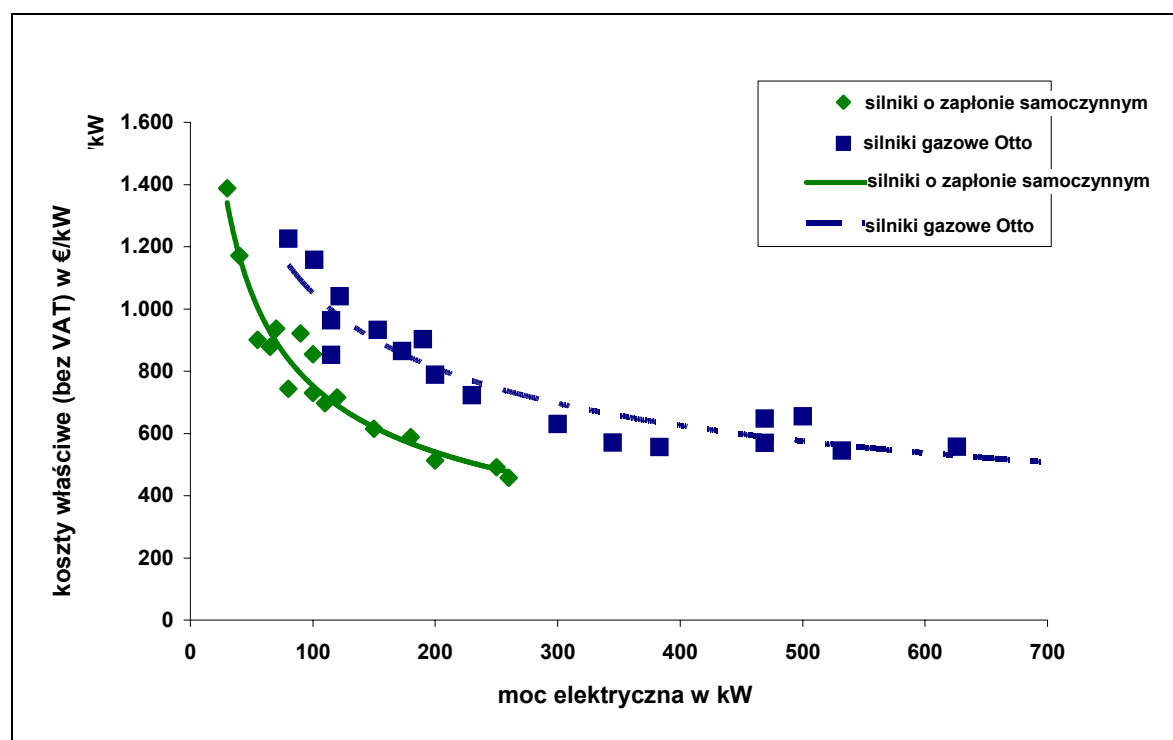
Rysunek 5-8: Kontener elektrociepłowni blokowej wzgl. montaż elektrociepłowni w budynku;
Zdjęcia: Seva Energie AG

W celu ustawienia na zewnątrz oferowane są moduły elektrociepłowni, które zostały zamontowane w dźwiękoszczelnych kontenerach. W kontenerach tych są z reguły zachowane wszystkie wymagania producenta elektrociepłowni wobec pomieszczeń, gdzie mają być zainstalowane.

Dalszą zaletą zabudowy kontenerowej jest pełen montaż całej instalacji bezpośrednio u producenta elektrociepłowni wraz z kończącym go testem. W ten sposób zostają zredukowane okresy od momentu ustawienia aż do uruchomienia do jednego lub dwóch dni. Przykłady ustawienia elektrociepłowni przedstawia rysunek 5-8.

5.2.1.9 Koszty

Koszty elektrociepłowni blokowych są w znacznym stopniu zależne od zastosowanych rodzajów silników. W przypadku silników o zapłonie samoczynnym można mówić często o silnikach, które w przeciwieństwie do gazowych silników Otto produkowane są seryjnie, co powoduje, że koszty ich zakupu są niższe. Jako ogólną cenę orientacyjną netto można przyjąć dla elektrociepłowni z silnikiem o zapłonie samoczynnym i mocą elektryczną 200 kW około 550 €/kW a przy elektrowni z gazowym silnikiem Otto o tej samej mocy elektrycznej ok. 800 €/kW (por. rysunek 5-9). Koszty właściwe zmniejszają się wraz ze wzrastającą mocą elektryczną elektrociepłowni. Podczas dokonywania oceny należy zawsze przestrzegać współczynnika sprawności instalacji. Elektrociepłownie blokowe o wyższych współczynnikach sprawności charakteryzują się wyższymi kosztami, które to jednak koszty mogą zostać wyrównane dodatkowymi dochodami pochodzącymi ze sprzedaży prądu.

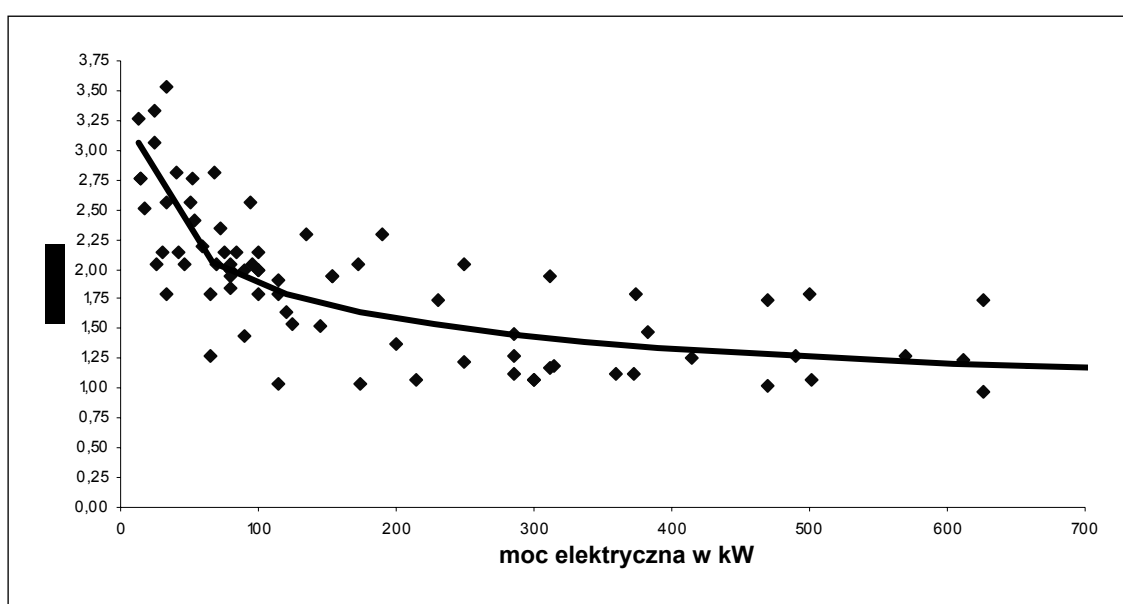


Rysunek 5-9: Koszty właściwe elektrociepłowni blokowych napędzanych biogazem

Przy zastosowaniu silników o zapłonie samoczynnym dochodzą jeszcze dodatkowe koszty koniecznego do użytkowania oleju oraz jego składowania (zbiorniki zapasowe). Przy takiej samej ilości biogazu należy wybierać większe agregaty o zapłonie samoczynnym niż gazowe silniki Otto, gdyż dodatkowo do biogazu należy uwzględnić jeszcze zawartość energetyczną oleju służącego do zapłonu [5-1].

Porównanie cen poszczególnych elektrociepłowni blokowych może okazać się dość trudne, gdyż zakres poszczególnych ofert znacznie się od siebie różni. Aby móc dokonać porównania, zalecane jest zaopatrzenie się w bardzo szczegółowe oferty. Mimo to bardzo ważne jest staranne sprawdzenie treści oferty, aby odróżnić ewentualnie najkorzystniejszą ofertę od oferty najtańszej.

Oprócz kosztów zakupu powinny również zostać uwzględnione koszty konserwacji oraz utrzymania w ruchu instalacji. Koszty zależą silnie od oferowanych usług wzgl. treści umowy (por. rozdział 5.2.1.8). W przypadku umów o pełną konserwację [5-11] można przyjąć około 1 – 1,8 centa za wytworzoną kWh_{el.} jako cenę orientacyjną. Rysunek 5-10 przedstawia orientacyjne ceny za umowy o pełną konserwację w zależności od mocy zainstalowanych silników.



Rysunek 5-10: Ceny orientacyjne za umowy o utrzymanie w ruchu [5-12]

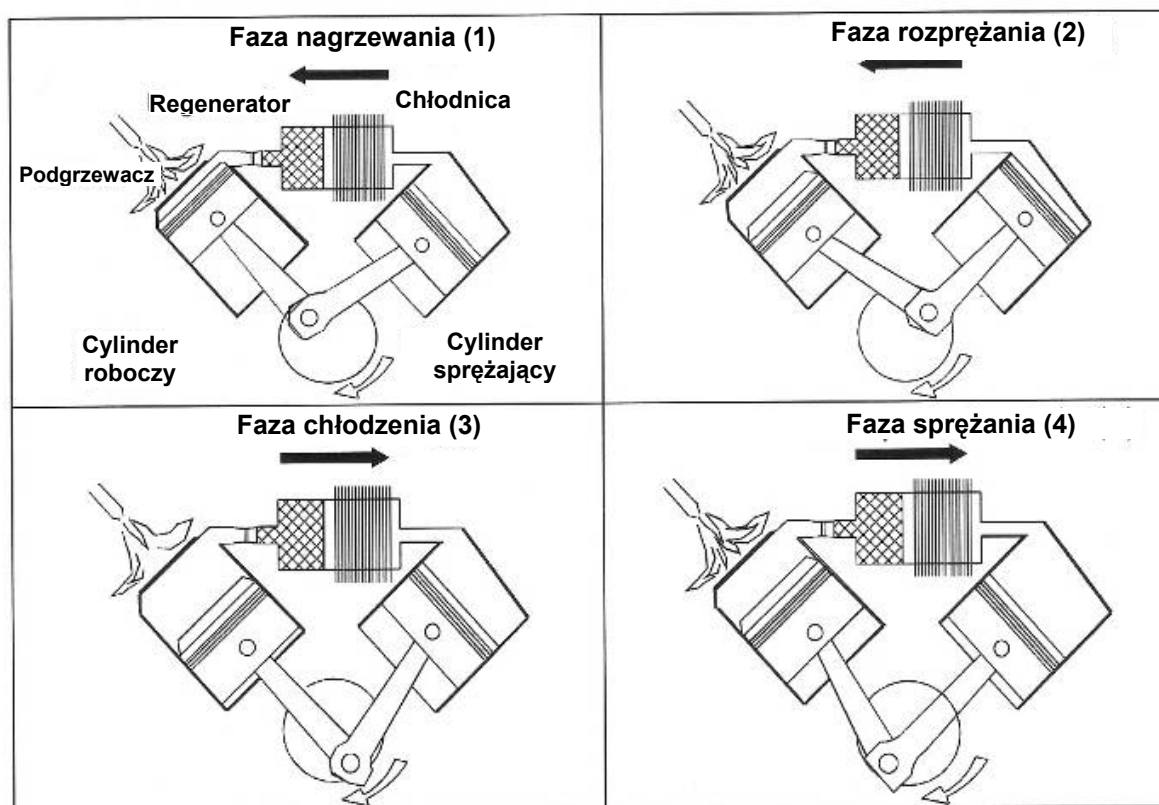
Ze względu na to, że elektrociepłownie nie zawsze pracują przy pełnym obciążeniu, co powoduje zmniejszenie wytworzonych kilowatogodzin, wielu producentów ustala ryczałt według roboczogodzin elektrociepłowni.

Alternatywą do kupna elektrociepłowni blokowej jest kontrakting. Kontrakting jest w różnych wariantach oferowany przez wielu producentów elektrociepłowni blokowych. W zależności od wariantu część ryzyka związanego z działalnością przenoszona jest z użytkownika instalacji biogazu na kontraktora. Pozostające ryzyko jest umownie regulowane pomiędzy stronami. W taki sposób powstaje możliwość, że kontraktor przejmie na siebie planowanie, finansowanie, budowę oraz konserwację, jak i kierowanie instalacją elektrociepłowni blokowej i tym samym stanie się jej użytkownikiem. Część wynagrodzenia, które kontraktor (użytkownik) otrzyma za wyprodukowany prąd, oddaje eksploatatorowi (użytkownikowi instalacji biogazu). Kontrakting oferuje przeróżne warianty, które mogą zostać wynegocjowane pomiędzy eksploatatorem a kontraktorem.

5.2.2 Wykorzystanie w silnikach Stirlinga

Silnik Stirlinga należy do tak zwanych silników napędzanych ogrzanym gazem lub działających na zasadzie rozprężania. Tłok nie jest tu poruszany – jak w silnikach spalinowych – przez rozprężanie gazów pochodzących ze spalania wewnętrznego, ale poprzez rozszerzanie się (rozprężanie) zamkniętego w cylindrze gazu, który rozszerza się wskutek doprowadzenia do niego energii, wzgl. ciepła z zewnętrznego źródła ciepła. Dzięki oddzieleniu źródła energii, wzgl. ciepła od właściwego wytwarzania mocy w silniku Stirlinga potrzebne ciepło może pochodzić z różnych źródeł energii, jak np. palnika gazowego zasilanego biogazem.

Podstawowa zasada silnika Stirlinga opiera się na tym zjawisku, że przy zmianie temperatury gaz zmienia swoją objętość. Jeśli ten gaz roboczy będzie przemieszczany pomiędzy komorą o stałe wysokiej temperaturze a komorą o stałe niskiej temperaturze, możliwe staje się ciągłe napędzanie silnika. W taki sposób gaz roboczy prowadzony jest w obiegu. Zasada działania została przedstawiona na rysunku 5-11.



Rysunek 5-11: Zasada działania silnika Stirlinga według [5-14] i [5-24]

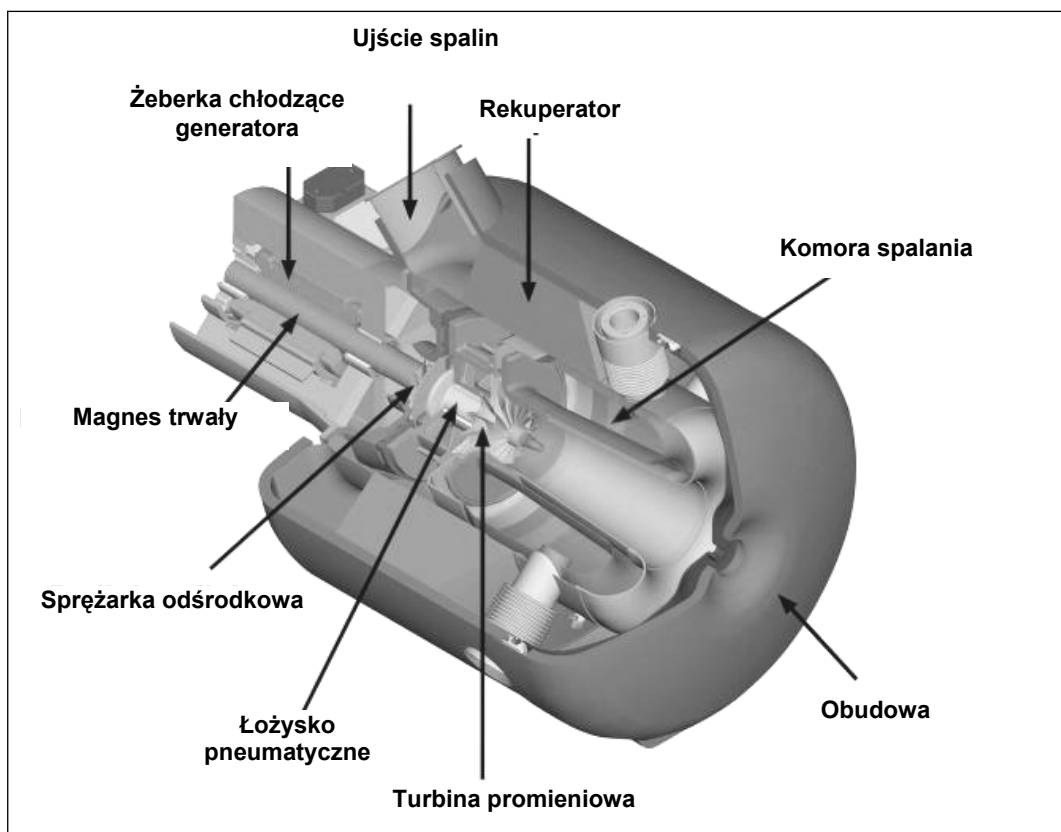
Ze względu na ciągłe spalanie silniki Stirlinga wykazują się niską emisją substancji szkodliwych oraz hałasu, jak i małą częstotliwością konserwacji. Co do tych silników można oczekiwać niskich kosztów konserwacji, ze względu na małe obciążenia części konstrukcyjnych oraz zamknięty obieg gazu. Elektryczne współczynniki sprawności są niższe w porównaniu z normalnymi silnikami i wynoszą pomiędzy 24 i 28%. Moc silników Stirlinga umiejscowiona jest przeważnie poniżej $\text{kW}_{\text{el.}}$. Temperatura spalin leży pomiędzy 250 i 300°C.

Ze względu na spalanie zewnętrzne, wobec biogazu stawiane są niskie wymagania jakościowe i dlatego też mogą być tu wykorzystywane gazy o niskiej zawartości metanu [5-14].

Na rynku dostępne są małej mocy silniki Stirlinga zasilane gazem ziemnym. By móc wykorzystywać silniki Stirlinga w technologii biogazu i pozostawać przy tym konkurencyjnym, wymaga to jeszcze dalszego rozwoju technicznego pod różnymi aspektami. Wówczas silnik Stirlinga mógłby być stosowany w elektrociepłowniach blokowych obok silników o zapłonie samoczynnym oraz silników gazowych Otto. W chwili obecnej prowadzone są w Niemczech próby silnika Stirlinga o mocy 40 kW, który napędzany jest biogazem. W Austrii natomiast rozpoczyna się pilotażowy projekt związany z wykorzystaniem silnika Stirlinga.

5.2.3 Wykorzystywanie w mikroturbinach gazowych

W turbinach gazowych powietrze z otoczenia jest zasysane i przy pomocy kompresora sprężone pod wysokim ciśnieniem. Powietrze dostaje się do komory spalania, gdzie zostaje po zmieszaniu z biogazem spalane. Tak powstałe podwyższenie temperatury powoduje zwiększenie objętości. Podgrzane gazy przedostają się do turbiny, gdzie zostają rozprężone, przy czym uwalniają wyraźnie więcej mocy, niż jest to potrzebne do napędzania kompresora. Przy pomocy niepotrzebnej do napędzania kompresora energii napędzany jest generator wytwarzający prąd.



Rysunek 5-12: Budowa mikroturbiny gazowej; Rysunek: G.A.S. Energietechnologie GmbH

Jako mikroturbiny gazowe lub mikroturbiny określa się małe, wysokoobrotowe turbiny gazowe cechujące się niskimi temperaturami i ciśnieniem w komorze spalania w dolnym zakresie mocy elektrycznej wynoszącej do 200 kW. Jako podstawa dla technologii mikroturbin gazowych służy technologia turbosprężarek doładowujących z dziedziny przemysłu samochodowego oraz rozwiązania pochodzące z lotnictwa. W chwili obecnej zarówno w Stanach Zjednoczonych, jak i w Europie istnieje wielu producentów mikroturbin gazowych. W celu poprawy współczynnika sprawności mikroturbiny gazowe w przeciwieństwie do „normalnych” turbin gazowych posiadają rekuperator, w którym podgrzewane jest powietrze przed spalaniem. Budowa mikroturbiny gazowej została przedstawiona na rysunku 5-12.

Przy obrotach rzędu ok. 96000 obr./min. wytwarzany jest wysokiej częstotliwości prąd zmienny, który za pośrednictwem elektroniki zostaje przetworzony w taki sposób, że może zostać wprowadzony do sieci energetycznej. W celu zasilania gazem ziemnym należy dokonać kilka zmian m.in. w komorze spalania oraz w dyszach paliwowych, jeśli mikroturbiny gazowe mają być stosowane do spalania biogazu [5-15]. Emisje hałasu przez mikroturbiny znajdują się w obszarze wysokich częstotliwości i łatwo dają się wytłumić.

Ze względu na to, że biogaz musi zostać dostarczony do komory spalania mikroturbiny gazowej, w której panuje nadciśnienie rzędu kilku barów, konieczne jest podwyższenie ciśnienia gazu. Obok ciśnienia w komorze spalania należy uwzględnić straty ciśnienia uzależnione od przepływu przez rurki oraz przepływu masowego przez instalację, zawory i palniki, w taki sposób, że podwyższenie ciśnienia wynosi do 6 bar w stosunku do nadciśnienia atmosferycznego. W tym celu od strony wlotu paliwa dołączany jest do mikroturbiny kompresor.

Niepożądane domieszki w biogazie mogą wywołać uszkodzenia mikroturbiny, dlatego konieczne jest oczyszczanie gazu i jego osuszanie. Mikroturbiny gazowe wytrzymują zawartości metanu wynoszące od 35 do 100% [5-15] [5-7].

Poprzez ciągłe spalanie z nadwyżką powietrza i niskimi ciśnieniami w komorze spalania mikroturbiny cechują się znacznie niższą emisją spalin niż silniki. Otwiera to nowe drogi do wykorzystania spalin, jak np. bezpośrednie osuszanie karmy lub nawożenie roślin szklarniowych przy pomocy CO₂. Dostępne ciepło odlotowe ma relatywnie wysoką temperaturę i transportowane jest za pośrednictwem spalin. Dzięki takiemu rozwiązaniu wytwarzane ciepło może być wykorzystywane w tańszy i technicznie prostszy sposób niż w przypadku silników spalinowych [5-15] Dielmann K.P.: Mikrogasturbinen Technik und Anwendung, BWK Das Energie- Fachmagazin, 06/2001, Springer VDI Verlag., 2001 [5-16] [5-17].

Odstępy czasowe pomiędzy konserwacjami są przynajmniej przy mikroturbinach napędzanych gazem ziemnym wyraźnie dłuższe niż przy silnikach. I tak wychodzi się z założenia, że napędzane gazem ziemnym mikroturbiny wymagają konserwacji co 8000 (łożysko pneumatyczne) wzgl. 6000 roboczogodzin (w przypadku łożysk smarowanych

olejem) [5-15]. Niektórzy producenci przyjmują dla mikroturbin napędzanych biogazem okresy konserwacji wynoszące 4000 roboczogodzin.

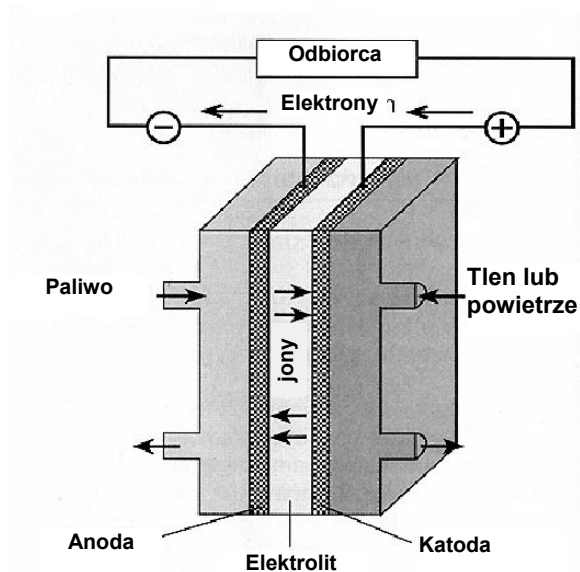
Brakuje jeszcze danych pochodzących z praktyki wykorzystania biogazu, dlatego okresy pomiędzy poszczególnymi konserwacjami mogą być tylko szacowane.

Wadą mikroturbin gazowych jest wynoszący ok. 28% relatywnie niski elektryczny współczynnik sprawności. Również całkowity współczynnik sprawności wynoszący ok. 82% [5-17] jest często nieco niższy niż współczynnik gazowych silników Otto i silników o zapłonie samoczynnym. W chwili obecnej prowadzone są próby z mikroturbinami zasilanymi biogazem. Koszty inwestycji, w porównaniu z instalacją podobnej mocy, opartą na zasilaniu silnikami napędzanymi biogazem, są o 15 do 20% wyższe [5-16]. Spodziewane jest jednak obniżenie kosztów, gdy mikroturbiny gazowe będą bardziej dostępne na rynku.

5.2.4 Wykorzystanie w ogniwach paliwowych

Sposób działania ogniwa paliwowego różni się zasadniczo od zwykłych rodzajów przemiany energii. Przemiana energii chemicznej biogazu w prąd odbywa się w sposób bezpośredni. Ogniwo paliwowe zapewnia wysokie współczynniki sprawności wynoszące do 50% przy praktycznie bezemisyjnym ich użytkowaniu.

Zasada działania ogniwa paliwowego porównywalna jest z odwróceniem elektrolizy wody. Podczas elektrolizy po doprowadzeniu energii elektrycznej dokonuje się rozkład cząsteczki wody na wodór (H_2) i tlen (O_2). W ogniwie paliwowym natomiast dochodzi do reakcji H_2 i O_2 i powstania wody (H_2O), przy jednoczesnym uwolnieniu się energii elektrycznej i cieplnej. Ogniwo potrzebuje zatem do reakcji elektrochemicznej wodoru i tlenu jako „paliwo” [5-18]. Przykład działania pokazuje rysunek 5-13:



Rysunek 5-13: Budowa mikroturbiny gazowej
Zasada funkcjonowania
ogniwa paliwowego; Rysunek:
FAL Braunschweig

Do wykorzystania w ogniwach paliwowych biogaz musi z zasady zostać uzdatniony. Usuwane jest H_2S w procesie biologicznego odsiarczania lub rozkładu katalitycznego przy użyciu wzbogaconego węgla aktywnego. Na końcu przeprowadzone zostaje wzbogacenie metanem przez oczyszczanie gazu przy zastosowaniu adsorpcji wody lub adsorpcji zmiennociśnieniowej oraz sił molekularnych, jeśli jest to konieczne dla danego rodzaju ogniwa paliwowego. Jednocześnie przeprowadzane jest dokładne oczyszczanie gazu w celu usunięcia H_2S i innych zawartych w biogazie substancji śladowych. Przy

pomocy katalitycznego reformingu pary metan zostaje przekształcony w wodór, przy czym ten etap procesu może przebiegać w niektórych ogniwach paliwowych wewnątrz ogniwa. Rodzaje ogniw paliwowych nazywane są według rodzaju stosowanego w nich elektrolitu i dają się podzielić na ogniwa paliwowe nisko- (AFC, PEM), średnio- (PAFC) i wysokotemperaturowe (MCFC, SOFC). Które ogniwo nadaje się najlepiej do zastosowania, zależy od rodzaju wykorzystania ciepła oraz dostępnych klas mocy.

Polimerowa membrana elektrolityczna (PEM) stwarza możliwość zastosowania w instalacjach biogazu. Dzięki jej temperaturze roboczej (80°C) można oddawać ciepło bezpośrednio do obecnej sieci ciepłowniczej. Rodzaj stosowanego elektrolitu pozwala oczekiwać długiej żywotności PEM. Jest ona jednak bardzo czuła na zanieczyszczenia znajdujące się w paliwie gazowym wraz z dwutlenkiem węgla, dlatego nakłady czynione na oczyszczanie gazu są dość wysokie. Włączenie PEM do instalacji jest obecnie testowane w Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) [Związkowym Instytucie Badawczym Rolnictwa].

Najbardziej rozwinięte jest PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell). Stosuje się je na całym świecie przy zastosowaniu gazu ziemnego. W stosunku do innych ogniw paliwowych współczynnik sprawności jest tu niższy. PAFC jest jednak mniej czuły na dwutlenek węgla oraz tlenek węgla.

MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) użytkowane jest z ciekłym karbonem jako elektrolitem i jest obojętna w stosunku do tlenku węgla i toleruje dwutlenek węgla do 40% udziału w objętości. Ze względu na jego temperaturę roboczą (600 - 700°C) przemiana metanu w wodór, zwane też reformingiem, odbywać się wewnątrz ogniwa. Ciepło odlotowe może być na przykład dalej wykorzystywane w dołączonych turbinach. Ogniwo paliwowe MCFC stosowane jest do spalania oczyszczonego biogazu w ramach Projektu firmy Schmack Biogas AG finansowanym przez E.ON Energie AG i Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe [Agencję Surowców Odnawialnych].

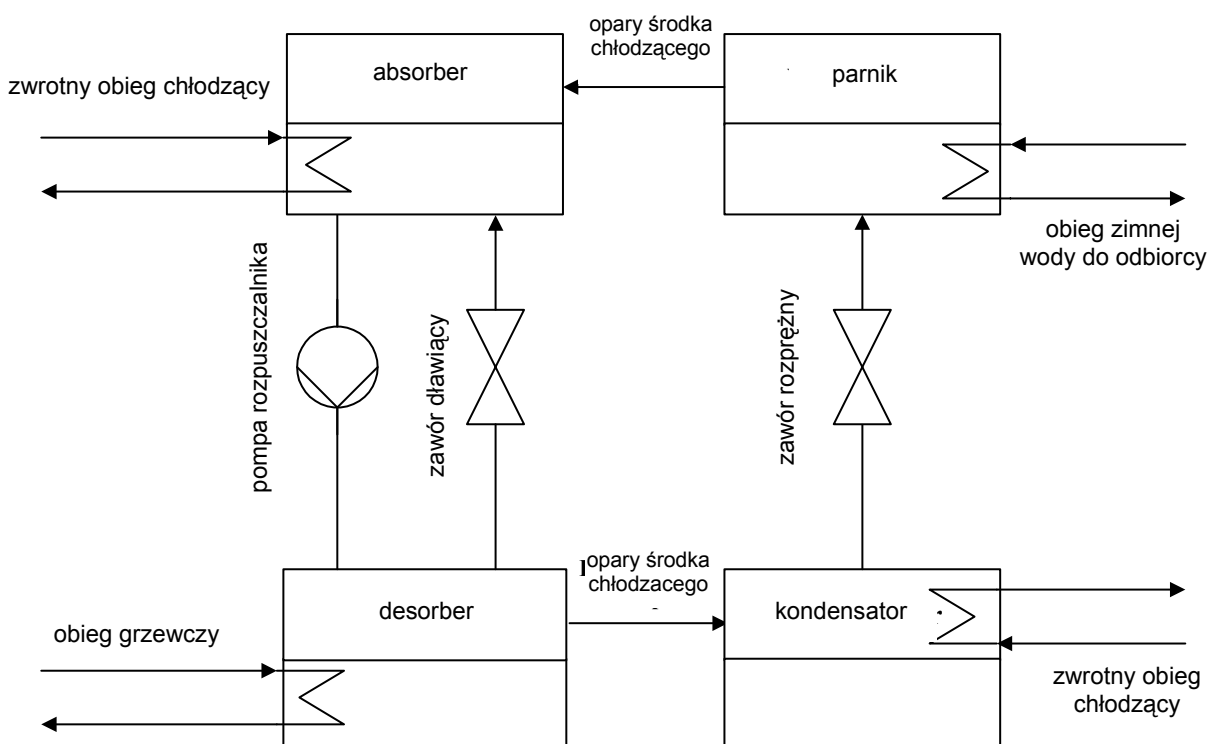
Kolejnym wysokotemperaturowym ogniwem paliwowym jest SOFC (Solid Oxide Fuel Cell). Pracuje w temperaturach między 750 i 1000 °C. Charakteryzuje się wysokimi współczynnikami skuteczności i również w tym przypadku reforming metanu w wodór może być przeprowadzany wewnątrz ogniwa. Cechuje je niska czułość na siarkę, co stanowi zaletę podczas wykorzystywania biogazu.

W stosunku do wszystkich rodzajów ogniw paliwowych koszty inwestycyjne w wysokości 12000 €/kW [5-19] są bardzo wysokie i jeszcze bardzo dalekie od kosztów elektrociepłowni blokowych napędzanych silnikami. Jak bardzo koszty inwestycyjne zmaleją i jak szybko zostaną rozwiązane jeszcze częściowo istniejące problemy, badane jest podczas różnych projektów pilotażowych. Wychodząc od aktualnego stadium rozwoju należy w następnych latach spodziewać się pojawienia w pełni sprawnych systemów.

5.3 Wykorzystanie przez sprzężenie mocy, ciepła i zimna

Możliwość ciągłego odbioru ciepła wytwarzanego podczas wykorzystywania biogazu w elektrociepłowni blokowej możliwe jest tylko w sytuacjach wyjątkowych. Korzystanie z wytwarzanego ciepła może jednak być rozstrzygającym czynnikiem o opłacalności instalacji biogazu. Z tego powodu rozsądnym jest uwzględnienie odpowiedniej koncepcji wykorzystania ciepła już podczas planowania całej instalacji. Na pewno wykorzystana jest zawsze tylko ta część wytworzonego ciepła, która konieczna jest dla procesu wytwarzania biogazu (ogrzewanie fermentatora). To stanowi jednak tylko ok. 25 do 40%, bardzo często niewykorzystana reszta ciepła zostaje wypuszczona przez chłodnicę awaryjną do otoczenia.

Podczas sprzężenia mocy, ciepła i zimna uzyskuje się zimno z ciepła. Przekształcenie ciepła w zimno odbywa się podczas tak zwanego procesu sorpcyjnego, który dzieli się na procesy adsorpcji i absorpcji zimna. Ze względu na większą relewancję opisany zostanie proces absorpcyjny wzgl. chłodziarka absorpcyjna, która znana jest w zasadzie ze starych lodówek. Przebieg procesu został przedstawiony na rysunku 5-14. Przykład realizacji w instalacji biogazu można zobaczyć na rysunku 5-15.



Rysunek 5-14: Schemat działania chłodziarki absorpcyjnej



Rysunek 5-15: Przykład chłodziarki absorpcyjnej zamontowanej w instalacji biogazu; Zdjęcie: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH

W celu wytwarzania zimna stosuje się parę substancji roboczych składających się z czynnika chłodniczego oraz rozpuszczalnika.

Rozpuszczalnik absorbuje czynnik chłodniczy i następnie zostaje ponownie od niego oddzielony. Jako substancje robocze stosować można wodę (czynnik chłodniczy) i bromek litu (rozpuszczalnik) dla zakresu temperatur 6/12 °C lub amoniak (czynnik chłodniczy) i woda (rozpuszczalnik) dla zakresu temperatur od -60°C.

Czynnik chłodniczy i rozpuszczalnik oddzielane są od siebie w desorberze. W tym celu roztwór musi zostać podgrzany,

do czego wykorzystywane jest wytworzone przez elektrociepłownię blokową ciepło. Czynnik chłodniczy najpierw wyparowuje wskutek swojej niskiej temperatury wrzenia i dostaje się do kondensatora. Tak zubożony o czynnik chłodniczy rozpuszczalnik przedostaje się do absorbera. Czynnik chłodniczy schładzany jest w kondensatorze i przechodzi w postać ciekłą. Następnie w zaworze rozprężnym zostaje rozprężony do ciśnienia parowania odpowiadającego danej temperaturze. W parowniku następnie paruje czynnik chłodniczy wraz z chwilą ogrzania. Tutaj ma miejsce właściwe chłodzenie obiegu chłodzącego, do którego podłączeni są odbiorcy. Tak powstająca para czynnika chłodniczego przepływa do absorbera. W absorberze oddzielany (absorbowany) jest czynnik chłodniczy od rozpuszczalnika, przez co obieg zostaje zamknięty [5-3] [5-23].

Jedyną mechanicznie ruchliwą częścią konstrukcyjną jest pompa rozpuszczalnika, przez co zużycie i nakłady na konserwację tych instalacji są bardzo niskie. Dodatkową zaletą chłodniczych instalacji absorpcyjnych jest niskie zużycie energii elektrycznej w porównaniu do sprężarkowych instalacji chłodniczych. Poza tym można dodatkowo wykorzystać ciepło wytwarzane podczas sprężenia mocy i ciepła. W ten sposób można z jednej strony oszczędzać energię elektryczną, z drugiej zaś strony wykorzystywać wytworzone przez elektrociepłownię blokową ciepło [5-20].

W niektórych miejscach wykorzystywane są już jako projekty pilotażowe instalacje sprężenia mocy i ciepła w rolniczej produkcji biogazu.

5.4 Dalsze możliwości wykorzystania

Biogaz może być wykorzystywany poza instalacjami sprężenia mocy i ciepła do bezpośredniego wytwarzania energii cieplnej, jako paliwo lub substytut gazu ziemnego.

5.4.1 Termiczne wykorzystanie biogazu

Spalanie biogazu w celu wytwarzania energii cieplnej jest bezproblemowe. W tym celu wykorzystywane palniki są często urządzeniami, które mogą być ustawiane na potrzeby spalania różnych paliw. Jedynie należy dostosować te urządzenia do wykorzystywania biogazu. W urządzeniach zbudowanych z części z metali kolorowych oraz gorszej jakości stopów stali, należy się liczyć z korozją z powodu znajdującego się w biogazie siarkowodoru. Dlatego też te metale muszą zostać wymienione.

Można dokonać podziału między palnikami atmosferycznymi oraz palnikami nadmuchowymi. Urządzenia atmosferyczne pobierają z otoczenia przez samozasysanie powietrze potrzebne do spalania. Wymagane ciśnienie gazu wynosi około 8 mbar i często może zostać wytworzone przez instalację biogazu. W przypadku palników nadmuchowych, powietrze doprowadzane jest przy pomocy dmuchawy. Wymagane ciśnienie palnika wynosi co najmniej 15 mbar. W celu wytworzenia odpowiedniego ciśnienia gazu konieczne jest przy określonych warunkach zastosowanie sprężarki gazu [5-3].

Przy zastosowaniu odpowiednich palników można mieszać biogaz z innymi paliwami. Wykorzystanie biogazu do wytwarzania ciepła nie jest jednak bardzo rozpowszechnione i straciło na znaczeniu w stosunku do wykorzystywania sprężenia mocy i ciepła w elektrociepłowniach blokowych. Można to zmienić w miarę rozwoju koncepcji wykorzystania ciepła, w których odległość pomiędzy instalacją biogazu a odbiorcą jest zbyt duża dla sieci ciepłowniczej, a opłacalne staje się bezpośrednie zaopatrywanie biogazem bez strat energetycznych.

5.4.2 Oddawanie biogazu do sieci gazu ziemnego

Oddawanie biogazu do sieci gazu ziemnego mogłoby w przyszłości stwarzać dalsze możliwości jego wykorzystania. Biogaz nie byłby na miejscu wykorzystywany w elektrociepłowniach blokowych do sprężenia mocy i ciepła, a oddawany bezpośrednio do istniejącej sieci gazu ziemnego. W tym celu jednak należy jeszcze uporać się z istniejącymi problemami prawnymi oraz barierami techniczno-ekonomicznymi.

Z prawnego punktu widzenia dyrektywa gazowa UE zapewnia każdemu dostawcy gazu nieograniczony dostęp do sieci gazowej (dyrektywa w sprawie dostępu do sieci gazowych biogazów i gazu z biomasy; Parlament Europejski; 13.03.2001) [5-3]. W Niemczech konieczne byłoby wydanie odpowiedniego rozporządzenia wprowadzającego wzgl. przejściowego jako uzupełnienia do ustawy o gospodarce energetycznej [5-21].

Przy zamiarze oddawania biogazu do sieci, zasadniczo nic by się nie zmieniło w konfiguracji instalacji biogazu oprócz wyeliminowania elektrociepłowni blokowej. Poprzez usunięcie elektrociepłowni należałoby uwzględnić alternatywy dla wytwarzania energii elektrycznej oraz ciepła koniecznych dla poszczególnych procesów. Potrzebna energia elektryczna może pochodzić z sieci energetycznej, ogrzewanie fermentatora mogłoby się odbywać przy zastosowaniu kotła grzewczego.

Kolejną możliwością byłoby równoległe użytkowanie elektrociepłowni blokowej, które jest tak zaplanowane, by wymagana dla poszczególnych procesów energia mogła zostać udostępniona. Pozostający biogaz przeznaczony byłby do oddania do sieci.

Aby móc oddawać biogaz do sieci gazu ziemnego, istnieje konieczność uzdatniania do osiągnięcia jakości gazu ziemnego (dyrektywa G 260 DVGW). Aby osiągnąć wymagane parametry, biogaz musi zostać oczyszczony z siarkowodoru oraz osuszony. Poza tym należy oddzielić metan (CH_4) i dwutlenek węgla (CO_2). Oprócz właściwego uzdatniania należy podwyższyć ciśnienie gazu przeznaczonego do oddania do sieci gazu ziemnego, do ciśnienia w niej panującego. Poza tym należy rurami zapewnić transport biogazu do właściwego punktu oddania gazu do sieci.

W praktyce instalacje służące oddawaniu biogazu do sieci istnieją w Szwecji, Holandii oraz Szwajcarii. W Niemczech trwają prace nad taką instalacją, przy czym do tej pory nie jest jeszcze oferowana żadna standardowa technologia służąca realizacji poszczególnych etapów uzdatniania. Poza tym istnieją jeszcze znaczne problemy w ekonomicznym wdrażaniu takich instalacji.

5.4.3 Paliwo dla pojazdów silnikowych

Jako paliwo dla ciężarówek i autobusów wykorzystuje się biogaz już od dłuższego czasu w Szwecji oraz Szwajcarii. Również w Niemczech przeprowadzono już wiele projektów, które nie zostały jednak zrealizowane na szeroką skalę.

Jeśli biogaz ma być stosowany jako paliwo dla pojazdów, musi zostać przetworzony tak, by osiągnął akceptowalną dla zwykłych silników samochodowych jakość. Oprócz korozyjne działających na silniki substancji jak np. siarkowodoru należy usunąć z biogazu także dwutlenek węgla (CO_2) oraz parę wodną. W związku z tym, że oferowane pojazdy napędzane są z reguły gazem ziemnym, zaleca się uzdatnianie biogazu do poziomu jakości gazu ziemnego (por. rozdział 5.4.2)

Z zasady na rynku dostępne są pojazdy napędzane gazem i oferują je także wszyscy znani producenci samochodów. Oferta rozciąga się tu na pojazdy napędzane jednym lub dwoma rodzajami paliwa. Pojazdy napędzane jednym rodzajem paliwa, napędzane są tylko gazem. W przypadku pojazdów napędzanych dwoma rodzajami paliwa silnik może być napędzany gazem lub benzyną [5-22]. Przy niesprężonym biogazie, ze względu na jego dużą objętość, nie można pokonać zbyt wielkiej odległości. Z tego powodu biogaz przechowywany jest z tyłu samochodu w zbiornikach ciśnieniowych gazu przy ciśnieniu około 200 bar.

Od czerwca 2002 paliwa biologiczne zwolnione są z podatków, przez co istnieje konieczna pewność planowania w stosunku do budowy stacji tankujących biogaz. Koszty uzdatniania biogazu zależne od stopnia czystości, są trudne do oszacowania. Z powodu poczynienia koniecznych nakładów technologicznych oraz pokrycia kosztów inwestycji, nadają się do tego przede wszystkim instalacje biogazu wytwarzające dziennie co najmniej 2500 m³ biogazu [5-19].

5.5 Spis literatury

- [5-1] Heinze, U.; Rockmann, G.; Sichtung, J.: Energetische Verwertung von Biogasen, Bauen für die Landwirtschaft, Heft Nr. 3, 2000
- [5-2] Helms, P.: Biologische Entschwefelung, Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft 2002/2003; Band 5, 1. Auflage Dezember 2002, Verlag für landwirtschaftliche Publikationen, Zeven
- [5-3] Jäkel, K.: Managementunterlage „Landwirtschaftliche Biogaserzeugung und -verwertung“, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 1998 / 2002
- [5-4] Mitterleitner, H.: Zündstrahler oder Gasmotor: Welches BHKW kommt in Frage, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- [5-5] Termath, S.: Zündstrahlmotoren zur Energieerzeugung Emissionen beim Betrieb mit Biogas, Elfes Symposium Energie aus Biomasse Biogas, Pflanzeöl, Festbrennstoffe, Ostbayrisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI) Regensburg, Tagungsband, 11/2002
- [5-6] Novellierung der TA-Luft beschlossen, Biogas Journal Nr. 1/2002, Fachverband Biogas e.V., 2002
- [5-7] Dielmann, K.P.; Krautkremer, B.: Biogasnutzung mit Mikrogasturbinen in Laboruntersuchungen und Feldtests, Stand der Technik und Entwicklungschancen, Elfes Symposium Energie aus Biomasse Biogas, Pflanzeöl, Festbrennstoffe, Ostbayrisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI) Regensburg, Tagungsband, 11/2002
- [5-8] Schlattmann, M.; Effenberger, M.; Gronauer, A.: Abgasemissionen biogasbetriebener Blockheizkraftwerke, Landtechnik, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 06/2002
- [5-9] schmitt-enertec GmbH, http://www.schmitt-enertec.de/bhkw/biogas_bhkw_beschreib.htm, Zugriff 10.02.2003
- [5-10] Verband der Netzbetreiber VDN e.V.: Auslegung des Gesetzes für den Vorrang erneuerbarer Energien vom 29.03.2000 durch den VDN; Stand: 1.1.2003
- [5-11] Rank, P.: Wartung und Service an biogasbetriebenen Blockheizkraftwerken, Biogas Journal Nr. 2/2002, Fachverband Biogas e.V., 2002
- [5-12] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE), Energiereferat der Stadt Frankfurt Referat 79A.2, BHKW-Kenndaten 2001
- [5-13] Schnell, H.-J.: Schulungen für Planer- und Servicepersonal, Biogas Journal Nr. 2/2002, Fachverband Biogas e.V., 2002
- [5-14] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer-Verlag, 2001
- [5-15] Dielmann K.P.: Mikrogasturbinen Technik und Anwendung, BWK Das Energie-Fachmagazin, 06/2001, Springer VDI Verlag., 2001

- [5-16] Willenbrink, B.: Einsatz von Micro-Gasturbinen zur Biogasnutzung, Erneuerbare Energien in der Land(wirt)schaft 2002/2003 – Band 5, 1. Auflage Dezember 2002, Verlag für land(wirt)schaftliche Publikationen, Zeven
- [5-17] Willenbrink, B.: Einsatz von Micro-Gasturbinen zur Biogasnutzung, Firmenschrift PRO2
- [5-18] Mikro-KWK Motoren, Turbinen und Brennstoffzellen, ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., Verlag Rationeller Erdgaseinsatz
- [5-19] Weiland, P.: Neue Trends machen Biogas noch interessanter, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- [5-20] <http://www.asue.de/>, Kühlen mit Erdgas, Zugriff 15.03.2003
- [5-21] Tentscher, W.: Biogas über das Erdgasnetz direkt verkaufen?, Biogas Journal Nr. 3/2000, Fachverband Biogas e.V., 2000
- [5-22] <http://www.umweltbundesamt.de/gasantrieb/tat/index.htm>, Zugriff 30.01.2003
- [5-23] Wie funktioniert eine Absorptionskältemaschine, <http://www.bhkw-info.de/kwkk/funktion.html>, Zugriff 20.01.2003
- [5-24] Raggam, A.: Ökologie-Energie; Skriptum zur Vorlesung; Institut für Wärmetechnik; Technische Universität Graz 1997
- [5-25] Mitterleitner, Hans: persönliche Mitteilung 2004

6 Wdrażanie projektu

Wdrożenie, to znaczy realizacja projektu związanego z biogazem, obejmuje wszystkie prace między analizą opłacalności oraz rozpoczęciem użytkowania instalacji. Poszczególne kroki realizacji zostały przedstawione na rysunku 6-1:



Rysunek 6-1: Etapy realizacji projektu dotyczącego wytwarzania oraz wykorzystywania biogazu

Aby przedstawić zarys ogólny tych etapów realizacji i przedstawić szczegółowe prace z nimi związane, w następnych fragmentach zostaną one ujęte w formie spisów kontrolnych.

6.1 Pomysł i szkic projektu

Jeśli powstał pomysł projektu związanego z biogazem, zalecane jest dla inicjatora projektu stworzenie szkicu projektu jako podstawy działania dla wdrażania pomysłu, który to również szkic powinien być podstawą oceny projektu. Szkic projektu jest podstawą dla oceny zasadniczych możliwości finansowania przedsięwzięcia, stworzenia pierwszych ważnych kontaktów oraz złożenia wniosku o dotację.

Ważna w tym punkcie przygotowania projektu jest przede wszystkim ocena projektu jako całościowego systemu od zbiorów / dostaw substratów, ich obróbki, fermentacji, aż do samej sprzedaży energii. Z tego powodu, w celu przygotowania szkicu projektu, powinny być przeprowadzone następujące kroki robocze.

Powinna także zostać dokonana ich ewaluacja przy pomocy załączonych do poradnika dokumentów kalkulacyjnych [6-3].

1. Zbadanie dostępności substratów; ustalenie całego łańcucha obróbki biomasy
2. Ogólne rozplanowanie techniczne instalacji
3. Sprawdzenie dostępnych powierzchni
4. Sprawdzenie dostępnych ilości substratów
5. Ocena kosztów, dotacji, opłacalności
6. Ocena możliwości uzyskania zezwoleń i akceptacji instalacji

6.2 Etap szczegółowego planowania

Podczas etapu szczegółowego planowania powinny być przestrzegane punkty wymienione w poniższej liście kontrolnej:

1. Etap: Bilansowanie i zwiedzanie	
Sprawdzić substraty będące długoterminowo do dyspozycji	Jakie własne substraty mam długoterminowo do dyspozycji? Czy w dłuższej/średniej perspektywie czasu planuję dokonywać zmian w swoim zakładzie produkcyjnym? Jakie skutki będzie to miało w stosunku do mojej instalacji biogazu? (biologiczne/materiałowe, technologiczne? energetyczne?) Czy mogę długoterminowo liczyć na substraty pochodzące spoza mojego zakładu? Czy wykorzystanie tych substratów w ramach wymogów ustawowych jest opłacalne? (pytanie o proporcjonalność)
Sprawdzenie własnego czasu, będącego do dyspozycji	Należy sprawdzić codzienny wymagany nakład czasu na prace rutynowe, kontrolne oraz konserwacyjne (por. rozdział 9). Czy da się to pogodzić z obecną sytuacją w moim zakładzie? Jaki model czasu pracy jest możliwy pod względem rodzinnym? (np. następcy w gospodarstwie) Czy istnieje konieczność zatrudniania obcej siły roboczej?
Sprawdzenie możliwości wykorzystania energii cieplnej	Czy istnieje możliwość wykorzystania we własnym zakładzie ciepła odłotowego z procesu sprzężenia mocy i ciepła? Czy koszty/prace związane z przerobieniem są opłacalne w stosunku do korzyści? Czy poza moim zakładem istnieją możliwości oddawania ciepła? Jakie ilości ciepła należy dostarczać miesięcznie?
Zwiedzanie instalacji biogazu	Zwiedzanie instalacji jako źródło doświadczeń i informacji Jakie możliwości budowy oferuje rynek? Gdzie pojawiają się problemy natury budowlanej / technologicznej? W jaki sposób problemy te zostały rozwiązane? Jakie doświadczenia mają użytkownicy z różnymi komponentami / kombinacjami komponentów?
Zbadanie budżetu, jakim się dysponuje na pokrycie kosztów	„Kontrola funduszy”- Jakiego rozwoju dochodów można się spodziewać? Czy sytuacja lub stosunki majątkowe zmieniają się w znaczący sposób w najbliższym czasie?
Cel 1. Etap:	- Pierwsza ocena możliwości zakładu - Znajomość rynku na temat oferty instalacji oraz komponentów

2. Etap: Wypracowanie koncepcji budowy

Zatrudnienie doświadczonego i poważnego planisty / działu planistycznego doświadczonego i poważnego producenta instalacji Nawiązanie kontaktu z doradcą rolnym	Osoby te są bardzo ważne dla rozwoju oraz planowania projektu i będą włączone w realizację wszystkich kolejnych etapów. Dysponują one kontaktami z pracownikami urzędów udzielających zezwoleń oraz pełnomocnikami w izbach. Mogły zebrać doświadczenie w budowie i użytkowaniu instalacji biogazu i są do dyspozycji jako osoby kompetentne w razie dalszych pytań, zaczynając od wyboru miejsca ulokowania instalacji aż do koncepcji i wykonania.
Ustalenie sposobu konstrukcji i postępowania, jak i wielkości instalacji	Zdefiniowanie właściwości miejsca ulokowania instalacji, ewent. zdobycie oceny rzeczoznawcy na temat podłoża. Wybór miejsca ulokowania instalacji (pomocze: plan sytuacyjny zakładu, budynków, powierzchni silosów na formacie DIN A3). Decyzja w sprawie wykorzystania rozsądnej konfiguracji / konstrukcji instalacji i jej technologii przy uwzględnieniu przyszłego ukierunkowania produkcji oraz odnoszących się do instalacji biogazu zmian organizacyjnych zakładu produkcyjnego. Ustalenie wielkości elementów instalacji według analizy potencjału. Pytanie o sposób postępowania: W jaki sposób ma zostać zrealizowany projekt? Czy instalacja ma zostać zbudowana „pod klucz” (instalacja „Turn key”)? Czy mają być zlecane poszczególne roboty oddzielnie? Jaki zakres robót we własnym zakresie został zaplanowany? Czy budowa może być prowadzona przez kilku inwestorów? Jakie roboty zostaną rozpisane w sposób szczegółowy? (np. roboty ziemne, elektryka ...) Pozostawić sobie przestrzeń na inne warianty realizacji!
Cel 2. Etap:	- Zatrudnienie doświadczonego planisty - Skontaktować się z doradcą rolnym - Ustalenie sposobu konstrukcji i postępowania - Stworzenie i wypracowanie nadających się do zaakceptowania dokumentów wstępnego planowania w celu prezentacji

3. Etap: Opłacalność i finansowanie

Stworzenie szczegółowego planu kosztów	Ze względu na ustalenie sposobu postępowania możliwe jest szczegółowe zaplanowanie kosztów. Plan kosztów powinien zostać stworzony tak, by w każdej chwili było możliwe przeprowadzenie kontroli kosztów. Poszczególne pozycje kosztowe powinny być podzielone na następujące bloki: - Koszty inwestycyjne na poszczególne komponenty - Koszty substratów „z transportem do fermentatora“ - Odliczenia - Utrzymanie, konserwacja i naprawy - Oprocentowanie - Ubezpieczenie - Koszty wynagrodzeń - Koszty finansowania oraz zezwoleń - Koszty planowania - Koszty energii elektrycznej, koszty przyłączenia do sieci - ewent. koszty transportu - Koszty pozostałe (telefon, pomieszczenia, zaopatrzenie itp.) Koszty inwestycyjne poszczególnych komponentów powinny zostać podzielone jeszcze na podgrupy. Przy świadczeniach własnych lub oddzielnym zleceniu robót powinny one być szczegółowo rozliczone. (por. lista kontrolna budowa instalacji biogazu).
Możliwości dotowania	Oprócz programów mających na celu pobudzenie gospodarki oraz niskoprocentowych pożyczek KfW [Banku Odbudowy] na szczeblu związkowym, istnieją jeszcze w krajach związkowych różnego rodzaju programy wspierające. Istnieje możliwość kumulowania tych dotacji z funduszami związkowymi i mogą wynieść do 40% kosztów inwestycji. Z jakimi instytucjami wspierającymi należy nawiązać kontakt? Jakie wymogi do złożenia wniosku lub otrzymania dotacji należy spełnić? Jakich terminów należy dochować? Jakie dokumenty muszą zostać złożone?
Finansowanie	Powinno zostać zbadane zapotrzebowanie na zewnętrzne źródła finansowania. Powinno się skorzystać z doradztwa oferowanego przez instytucje finansowe. Powinno zbadać się różne koncepcje finansowania pod kątem sytuacji zakładu. Powinno dokonać się porównania różnych ofert finansowania.
Cel 3. Etap:	Dokonać analizy opłacalności; przy tym uwzględnić ocenę dalszych aspektów (np. zapach, płynność gnojówki przeznaczonej na produkcję biogazu itp.). Skutek: ewent. nawiązanie kontaktu z sąsiednimi zakładami rolnymi, aby - zdobyć dodatkowe substraty, - utworzyć wspólnoty użytkowników  powtórna analiza opłacalności (etap 3)

4. Etap: Nawiązanie kontaktu i rozmowy z urzędami	
Nawiązanie kontaktu z urzędami i instytucjami, które odgrywają rolę w postępowaniu o wydawanie zezwoleń wzgl. w procesie budowy	Zorganizowanie terminu „okrągłego stołu” (urząd wydający zezwolenie (nadzór budowlany, StUA [Urząd Ochrony Środowiska], Urząd Inspekcji Przemysłowej itp.) oraz ewent. urząd weterynaryjny) jako okazja do przedstawienia swojego przedsięwzięcia. Nie tylko zostanie nawiązany osobisty kontakt z osobami odpowiedzialnymi w urzędach, ale dokładnie zostaną wyjaśnione warunki ramowe przedsięwzięcia budowlanego. Czy przedsięwzięcie jest uprzywilejowane dla obszarów poza planem zagospodarowania przestrzennego? Czy konieczne i możliwe są zmiany / wymogi? Jakie nakłady zostaną poczynione? Jakie dokumenty trzeba będzie dodatkowo dostarczyć?
Nawiązanie kontaktu z zakładem energetycznym	Ustalić termin osobistego spotkania, aby zaprezentować przedsięwzięcie budowlane. Ten termin służy wyjaśnieniu kwestii łącz: Zostaje zdefiniowany korzystny punkt oddawania energii do sieci, zakres świadczeń w kwestii zmian/ rozszerzenia sieci powinien zostać starannie sformułowany i powinno się uzyskać kosztorys. W każdym przypadku powinien on zostać porównany z ofertami innych dostawców.
Cel 4. Etap:	- Przedstawienie przedsięwzięcia budowlanego instytucjom wydającym zezwolenia oraz zakładowi energetycznemu - Dokonanie oceny wykonalności pod względem uzyskania zezwoleń, wyjaśnienie, sformułowanie i zdefiniowanie kwestii obszarów nie objętych planem zagospodarowania przestrzennego i dalszych warunków ramowych, nakładów oraz wymogów - Wyjaśnić zakres świadczeń z zakładem energetycznym i uzyskać ofertę - Porównać ofertę zakładu energetycznego z innymi dostawcami Po tym jak zostaną sformułowane ewentualne dodatkowe wymogi ze strony instytucji wydających zezwolenia i przedstawiona została oferta zakładu energetycznego:  przekalkulować powstające koszty i powtórzyć etap 3 !

6.3 Planowanie uzyskiwania zezwoleń

Planowanie uzyskiwania zezwoleń obejmuje w istocie sporządzenie wniosku budowlanego i zasilane jest decyzjami z fazy planowania szczegółowego. Planowanie uzyskiwania zezwoleń powinno odbywać się w kontakcie z producentem / planistą instalacji oraz doradcą rolnym. Zarys zadań w fazie planowania uzyskiwania zezwoleń, jak i regulacji prawnych, jakich należy przestrzegać, przedstawia poniższa lista kontrolna.

Sporządzenie dokumentacji do wniosku budowlanego

W zależności od stanu faktycznego i urzędu wydającego zezwolenie wymagana będzie mniej lub bardziej obszerna dokumentacja. Poniższa lista nie ma charakteru kompletnego, w indywidualnych sytuacjach mogą być wymagane dodatkowe dokumenty.

Formularze wniosku budowlanego	Uzyskać w urzędzie prowadzącym postępowania w sprawie uzyskania zezwoleń budowlanych (postępowanie według BimSchG [ustawy o ograniczeniu emisji substancji szkodliwych] lub według prawa budowlanego?) W przypadku postępowania według BimSchG dokumenty wymagane w tym zakresie znajdują się wśród formularzy wniosku budowlanego.
Kwalifikowany plan sytuacyjny (1:100)	Można go zakupić w urzędzie katastrowym okręgu.
Kwalifikowane zaświadczenie o wielkości powierzchni	Zaświadczenie to jest żądane w niektórych krajach związkowych w szczególności od gospodarstw rolnych współużytkujących instalację biogazu, nawet jeśli gospodarze nie są współużytkownikami, lecz dostarczają „tylko” substraty i odbierają resztki z procesu fermentacji. Sporządzane jest przy udziale doradcy rolnego oraz planisty
Opis instalacji oraz zakładu	Sporządzany przez planistę.
Plan ulokowania instalacji	Sporządzany przez planistę.
Szkic szczegółowy	Sporządzany przez planistę. ▪ Plany przebiegu rur (substrat / gaz) z podaniem nachylenia, kierunku przepływu, wymiarów oraz cech materiałowych ▪ Uwzględnienie strefy wybuchu ▪ Rodzaj i sposób wykonania miejsc przeładunku dla gnoju, kiszonki i innych kofermentów. ▪ Maszynownia wraz z wymaganymi instalacjami ▪ Plany instalacji grzewczej ze wskazaniem przyłączy do dostawców i odbiorców ciepła ▪ Wykres rozpręgu energii elektrycznej na potrzeby włączenia elektrociepłowni blokowej do zakładu. ▪ Zbiornik gazu, odcinek z zaworami bezpieczeństwa instalacji gazowej ▪ Miejsca składowania substratów
Statyka dla dużych komponentów instalacji biogazu i komina	Statyka dużych komponentów sporządzana i dostarczana jest przez producenta instalacji / komponentu. Statyka dla komina jak i ekspertyza dla obliczenia wysokości komina sporządzane i dostarczane są przez inżyniera kontrolera.
Ekspertyza w sprawie hałasu zgodnie z rozporządzeniem w sprawie dopuszczalnego hałasu oraz ekspertyza na temat zapachów jak i plan źródeł emisji według rozporządzenia w sprawie zanieczyszczenia powietrza	Jeśli urząd wydający zezwolenie stwierdzi na podstawie szczególnych warunków panujących w miejscu ulokowania przedsięwzięcia, że musi zostać sporządzona ekspertyza, wówczas należy to zlecić odpowiedniemu biegłemu zgodnie z §29 BimSchG. Z reguły zlecenie to zostaje przekazane za pośrednictwem planisty.
Rozwiązania z zakresu ochrony przeciwpożarowej	Sporządzane przez planistę / producenta instalacji.

Dotrzymanie wymogów stawianych w przepisach prawnych

Wymagania wskazanych poniżej przepisów prawnych powinny zostać koniecznie spełnione (por. też rozdział 7)

Lista nie jest listą kompletną

Należy zwrócić uwagę na dotrzymanie najważniejszych regulacji prawnych.

Biomasa V

Przepisy z zakresu ochrony powietrza przed zanieczyszczeniami

- BimSchG [ustawa o ograniczeniu emisji substancji szkodliwych] wraz TA Luft [rozporządzenie w sprawie zanieczyszczeń powietrza] i TA Lärm [rozporządzenie w sprawie emisji hałasu]
- UVPG [ustawa o kontroli szkodliwości dla środowiska]

Przepisy z zakresu gospodarki odpadami

- Landesabfallgesetz [Krajowa ustawa w sprawie odpadów]
- BioabfallV [rozporządzenie w sprawie odpadów biologicznych]
- Dyrektywa UE 1774

Przepisy z zakresu prawa stosowania nawozów

- Düngemittelgesetz [ustawa o nawozach]
- Düngemittelverordnung [rozporządzenie o nawozach]
- Düngeverordnung [rozporządzenie o stosowaniu nawozów]

Przepisy z zakresu gospodarki wodnej

- Wasserhaushaltsgesetz [ustawa o gospodarce wodnej]
- Landeswassergesetze [krajowe ustawy o gospodarce wodnej]

Przepisy z zakresu ochrony przyrody

Przepisy „zasad bezpieczeństwa dla instalacji biogazu“

Przepisy z zakresu BHP

6.4 Zakup instalacji

Uwieńczeniem wszelkich faz planowania jest umowa wykonania wzgl. zakupu instalacji biogazu. Wszelkie możliwe umowy, których zawarcie może być konieczne między planowaniem a rozpoczęciem użytkowania, powinny kierować się kilkoma powszechnie obowiązującymi zasadami. Wypracowano następujące motywy przewodnie [6-1]:

1. Należy zawierać umowy tylko z takimi partnerami, z którymi spodziewamy się dobrej współpracy.
2. Należy formułować umowy w taki sposób, jak gdyby było się w konflikcie z drugą stroną umowy.
3. Należy unikać prób oszukania partnerów – tylko umowa, która wszystkim stronom daje korzyści jest dobrą umową! Tylko taka umowa motywuje wszystkie jej strony do odpowiednich świadczeń.

Przy tym wszystkim nawet najlepsza umowa nie zastąpi zaufania pomiędzy zleceniodawcą i zleceniobiorcą.

Zasadniczo można zawierać umowy kupna lub o dzieło w odniesieniu do poszczególnych fragmentów budowy. W przypadku umowy kupna-sprzedaży przedmiotem umowy jest istniejąca, gotowa rzecz, a więc instalacja biogazu lub jej komponent. W przypadku umowy o dzieło jej przedmiotem jest wytworzenie pewnego „dzieła”, zatem zbudowanie instalacji wzgl. jej komponentu. Oba rodzaje umów różnią się zasadniczo w regulacjach z zakresu gwarancji, w szczególności w odniesieniu do wad prawnych określonych w BGB [kodeksie cywilnym].

Przy podpisywaniu umów o wykonanie komponentów lub całej instalacji pod klucz należy zwracać uwagę na to, że umowa o wykonanie całej instalacji zawarta z jednym wykonawcą generalnym częściowo aż do rozruchu i ostatecznego przekazania instalacji pozostawia odpowiedzialność po stronie wykonawcy. W przypadku umów o wykonanie poszczególnych systemów lub komponentów instalacji odpowiedzialność za całą instalację spoczywa po stronie zleceniodawcy.

Kształtowanie umów może niezależnie od jakości tych umów przebiegać w sposób różnorodny. W odniesieniu do instalacji może zostać zawarty szereg pojedynczych umów lub nawet może to być konieczne (np. umowa budowlana, rozruch, dostawa i montaż, użytkowanie instalacji, serwis, konserwacja, również umowy częściowe na świadczenia częściowe jak np. elektrociepłownia blokowa, umowa dzierżawy terenu pod instalację biogazu).

Wskutek tak szerokich możliwości kształtowania umów nie można stworzyć jasnej listy kontrolnej, z pytaniami na „tak” lub „nie” w celu sprawdzenia umowy, jak i nie można zaoferować sformułowanych umów. Z tego powodu należy postrzegać poniższych wskazówek odnoszących się do treści umów jako pewien impuls i zalecenia, które nie mogą zastąpić fachowego doradztwa prawnego przed podpisaniem umowy.

Regulacje ogólne i organizacyjne

Następujące ogólne i organizacyjne propozycje regulacji, jak i wskazówki powinny być uwzględniane w umowie o wykonanie instalacji biogazu:

- Oszczędnie formułować klauzule generalne, aby wykluczyć możliwości dokonywania interpretacji [6-2]
- Przestrzegać ogólnych warunków handlowych kontrahenta, które z reguły stanowią integralną część umowy
- Oferta ze szczegółowymi danymi odnośnie obowiązywania oraz ewent. rysunkami może zostać uwzględniona jako część umowy (przestrzegać przy tym okresu związania ofertą). W ofercie powinny być zawarte wszystkie wymienione w tym poradniku, konieczne dla danego zastosowania części instalacji.
- jako część umowy powinny zostać uwzględnione znormalizowane warunki zlecenia i wykonawstwa robót budowlanych (VOB)
- Podział zadań, sposób postępowania oraz zakres odpowiedzialności podczas fazy budowy i rozruchu, jak podczas ewentualnej eksploatacji próbnej
- Zdefiniowanie kierownictwa budowy przedsięwzięcia
- Uregulowanie swobody korzystania z terenu podczas robót budowlanych
- Regulacja odbioru całej instalacji, jak i jej fragmentów
- Regulacje na temat postępowania z żądaniami zleceniodawcy dokonania zmian oraz postępowania zleceniobiorcy ze zmienionym zakresem świadczeń.
- Możliwe włączenie zastrzeżenia odnośnie finansowania w przypadku korzystania z dotacji
- Możliwości uwzględnienia upustów uzyskanych przez zleceniodawcę w ramach świadczeń budowlanych
- uwzględnienie klauzuli, że wszelkie dalsze ustalenia, które zmieniają treść umowy, wymagają formy pisemnej
- Zawarcie klauzuli, że w przypadku bezskuteczności pojedynczych fragmentów, reszta umowy pozostaje nienaruszona.

Terminy

W umowie o wykonanie instalacji biogazu powinny być uwzględniane następujące propozycje regulacji, jak i wskazówki dotyczące terminów:

- Moment przekazania instalacji zleceniodawcy
- terminy dostaw, wykonania komponentów, montażu instalacji, rozruchu, eksploatacji próbnej, odbioru i przekazania (wskazówka: należy sprawdzić, czy podane terminy dadzą się pogodzić z warunkami klimatycznymi panującymi w czasie budowy oraz z powiązaniem ze sobą wykonawstwa poszczególnych elementów zależnych od siebie).
- Terminy realizacji świadczeń przez zleceniobiorcę, jak i przez zleceniodawcę.
- Terminy dochodzenia roszczeń w przypadku niewykonania części umowy

Świadczenia

Podczas formułowania umowy o wykonanie instalacji biogazu powinno się przestrzegać następujących propozycji regulacji jak i wskazówek, dotyczących bezpośrednich świadczeń w ramach wykonania instalacji biogazu.

- dane na temat świadczeń planistycznych, zawartych w umowie oraz świadczeń planistycznych wykraczających poza zakres umowy
- korzystanie ze świadczeń inwestora (przyłącza wody, ścieków, energia elektryczna, telefon, toalety, miejsca składowania, dojazdy itp.)
- dokładne wyjaśnienie punktów zbiegu kompetencji/obowiązków i wynikające z tego zależności (świadczenie własne/zakres świadczeń/różnic zleceniobiorcy) [6-2]
- wyraźne granice świadczeń (przyłączenie łącz dla substratu, ogrzewania, elektryczności, wody, ścieków) oraz należące do obowiązków inwestora świadczenia poprzedzające oraz prace wykończeniowe.
- szczegółowe spisanie umownie gwarantowanych świadczeń
- wykonanie świadczeń zgodnie z uznanymi regułami techniki
- specyfikacje wymiarów, rodzajów, świadczeń, materiałów i producentów komponentów instalacji
- jasne zdefiniowanie stosowanych materiałów, możliwie z podaniem specyfikacji ich cech, zdefiniowanie substratów, które nie mogą być poddawane obróbce w danej instalacji biogazu.
- możliwość ustalenia kontroli komponentów przed dostawą w fabryce dostawcy części, w stosunku do części będących częściami istotnymi
- ewentualnie dane odnośnie emisji hałasu i dane dotyczące innych emisji
- ewentualne szkolenia przyszłego personelu zakładu
- dostarczenie dokumentacji instalacji, wskazówek eksploatacyjnych oraz podręczników eksploatacyjnych
- ewentualny zakres świadczeń serwisowych po przekazaniu instalacji
- uwzględnienie elementów specyficznych dla poszczególnych krajów związkowych
- nakłady na opłaty i ekspertyzy (np. zezwolenie, pomiary, zapach, dźwięk, statyka)
- przyłączenie do sieci elektrycznej
- wykorzystanie pozostałości budowlanych, wykopy
- rozruch techniczny i biologiczny

Płatności

Podczas formułowania umowy o wykonanie instalacji biogazu powinno się przestrzegać następujących propozycji regulacji jak i wskazówek, dotyczących dokonywanych płatności w ramach wykonania instalacji biogazu.

- możliwość zaakceptowania proponowanych warunków płatności
- dane na cele płatnicze oraz koszty komponentów instalacji oraz fragmentów budowy
- plan płatności
- rodzaj wynagrodzenia (np. ceny stałe, rozliczenie według nakładów), regulacje dotyczące kosztów wykraczających poza wykonanie umowy
- włączenie planu płatności (może zostać sformułowany również niezależnie od umowy i następnie zostać zdefiniowany jako jej element)
- regulacje na wypadek płatności z przekroczeniem terminów
- regulacje dotyczące wpłat zaliczkowych / ratałnych

Gwarancja i odpowiedzialność

Podczas formułowania umowy o wykonanie instalacji biogazu powinno się przestrzegać następujących propozycji regulacji jak i wskazówek, dotyczących kwestii związanych z udzielaną przez niego gwarancją oraz odpowiedzialnością w ramach wykonania instalacji biogazu.

- jasne oddzielenie od roszczeń gwarancyjnych, dotyczących świadczeń umownych i świadczeń własnych
- regulacje dotyczące roszczeń gwarancyjnych podczas fazy budowy, rozruchu oraz eksploatacji próbnej
- zakres świadczeń gwarancyjnych i mających na celu poprawę wykonanych robót (np. rozporządzalność instalacji biogazu, najniższy uzysk gazu)
- może być oczekiwane zawarcie umowy ubezpieczenia od odpowiedzialności cywilnej inwestora
- włączenie odpowiedzialności zleceniobiorcy za działania zamierzone oraz rażące zaniedbania, bezpieczeństwo ruchu na budowie
- regulacje dotyczące ważności warunków gwarancyjnych (np. odnośnie konserwacji instalacji, prac rozruchowych, dodatkowych instalacji)
- regulacje dotyczące zakresu gwarancji (w odniesieniu do świadczeń częściowych)
- rozsądne jest włączenie praw gwarancyjnych oraz przeniesienia ryzyka według VOB/B

„Na wszelki wypadek” – niewypełnienie obowiązków i rozwiązanie umowy

Na wypadek wystąpienia przyczyn powodujących rozwiązanie umowy lub jednostronne niedopełnienie umowy już podczas formułowania umowy powinny być przestrzegane następujące propozycje regulacji jak i wskazówki:

- wystarczające uwzględnienie możliwych zakłóceń w realizacji umowy, tzn. wyważone ustalenia w stosunku do przewidywalnych różnic, aby móc rozwiązać różnice zdań unikając konieczności prowadzenia sprawy przed sądem.
- regulacje dotyczące odstąpienia partnera od umowy
- regulacje na wypadek płatności z przekroczeniem terminów
- kary umowne (zakres i warunki)

6.5 Budowa instalacji

Podczas budowy instalacji wzgl. jej planowania należy przestrzegać poniższej listy kontrolnej.

1. Etap: Przygotowania

Wypracowanie planowania realizacji	Jeżeli instalacja biogazu zostanie zbudowana wyłącznie na podstawie 1:100 planowania na podstawie zezwoleń, często dochodzi do zmian, których nieodzowność staje się widoczna dopiero na placu budowy. Szczegółowe rozplanowanie realizacji np. instalacji elektrycznej, grzewczej, zmniejsza ilość koniecznych, spontanicznych decyzji podczas procesu budowy, których skutki na prace równoległe lub następujące są nieprzemyślane i tym samym mogą spowodować powstanie dodatkowych kosztów.
Sporządzenie planu przebiegu budowy	Ten sporządzony przez planistę plan pokazuje, jakie roboty należy wykonać, aby nie utrudniać następnych prac. Te zależności i przeplatanie się poszczególnych prac stają się wówczas widoczne (np. okresy przygotowań, realizacji i np. schnięć) pozwalając jednocześnie na identyfikację słabych punktów. W planie przebiegu budowy powinny zostać uwzględnione przestoje (ewentualne święta) i przede wszystkim okresy wykonywania świadczeń własnych.
Cel 1. Etap:	- Szczegółowe planowanie - Obszerny plan przebiegu budowy

2. Etap: Decyzja w sprawie wykonywania świadczeń własnych

Sprawdzenie własnych umiejętności	Jakie świadczenia własne mogę wykonać, zachowując jednocześnie ich wysoką jakość?
Sprawdzenie własnego czasu, będącego do dyspozycji	Jakie świadczenie własne prowadzi do dobrego wykorzystania stosunku zysków i strat bez uszczerbków na jakości? Kiedy ma się rozpocząć budowa? Czy moje czasowe zaangażowanie w budowę z uwzględnieniem planu przebiegu budowy da się pogodzić z sytuacją w moim zakładzie? Jakich pomocników jestem w stanie zorganizować? Na jaki okres czasu potrzebuję kogo?
Ustalić z planistą świadczenia własne	Nakład pracy a ramach kontroli jest dla planisty z reguły wyższy, gdyż prace wykonywane jako świadczenia własne muszą być kontrolowane w szczególny sposób. Również planowanie przebiegu prac musi zostać dostosowane do wyższego zaangażowania czasowego w przypadku wykonywania robót we własnym zakresie.
Zdefiniować miejsca przecinania się z robotami następującymi	Każda z robót ma pośrednie i bezpośrednie momenty przecinania się z robotami wcześniejszymi, późniejszymi lub równoległymi (np. okresy schnięcia, BHP, zakazy wstępowania, świadczenia wstępne w stosunku do robót właściwych). Szczególnie ważna jest kontrola robót wykonanych we własnym zakresie oraz robót wykonywanych przez przedsiębiorców. Jeśli świadczenie przedsiębiorcy hamowane jest pod względem technicznym lub czasowym, powoduje to przestoje, dodatkowe koszty i problemem z dotrzymaniem gwarancji.
Cel 2. Etap:	- Sprawdzenie umiejętności - Sprawdzenie czasu, jakim się dysponuje - Omówić świadczenia własne z planistą i uwzględnić w planie przebiegu budowy - Zdefiniować miejsca przecinania się z robotami pośrednimi i bezpośrednimi

3. Etap: Przydzielanie robót głównych

Przydzielanie robót głównych	W porozumieniu z planistą roboty główne zostają za jego pośrednictwem przekazywane na drodze umownej Zrezygnować z samowolnego rozdzielania robót i zaopatrzyć się w oferty alternatywne! Zgodzić się na ewentualne dodatkowe koszty u oferentów mających swoje siedziby na miejscu, uwzględniając szybszy czas dojazdu podczas prac konserwacyjnych i kontrolnych (krótkie czasy przejazdów oznaczają niskie wynagrodzenie za dojazdy).
------------------------------	---

4. Etap: Przygotowanie placu budowy

Organizacja i zabezpieczenie budowy	Zlecić urządzenie i zabezpieczenie placu budowy (ogrodzenie budowy, tablica informacyjna). Udostępnić zamykane miejsce składowania materiałów oraz toaletę. Odpowiedzialność za oba punkty może zostać przydzielona przedsiębiorstwu wykonawcy. Inwestor powinien zawrzeć umowę ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej oraz ubezpieczenia placu budowy. Koszty tej ostatniej mogą zostać przeniesione na przedsiębiorstwo wykonawcy. Zawarcie umowy ubezpieczenia budowy w stanie surowym. Przedsiębiorstwu wykonawcy musi zostać zapewniony dostęp do wody i prądu. Jeśli budowa przekroczy określone granice, koordynacja w ramach BHP może zostać zgodnie z odpowiednim rozporządzeniem w sprawie prowadzenia robót budowlanych przekazana za wynagrodzeniem kierownikowi budowy.
Cel 4. Etap:	- Organizacja i zabezpieczenie budowy

5. Etap: Zabezpieczenie jakości podczas budowy

Już w spisie zakresu świadczeń zlecenia należy ustalić wymogi jakościowe i je kontrolować	Kontrola jakości rozpoczyna się wraz z ustaleniem określonych standardów jakości. Jeśli ustalono dokładne ilości materiałów w ramach zakresu świadczeń, sprawdzać je.
Być obecnym na budowie Prowadzić dziennik budowy	Powinni Państwo codziennie odwiedzać plac budowy, gdy robotnicy już albo jeszcze są. Dzięki temu są Państwo zawsze osiągalni jako rozmówca. Swoje obserwacje powinni Państwo w szczegółowy sposób spisywać w dzienniku budowy. Do tego należy też informacja m.in. z jakiego przepisu budowlanego to wyniknęło i jakie pojawiły się niejasności, usterki. Tutaj mogą być również na potrzeby urzędy skarbowego dokumentowane dodatkowe wydatki!
Założyć dokumentację fotograficzną	Przy pomocy aparatu fotograficznego powinny być uwieczniane postępy w pracach, stosowane materiały, instalacje itp.
Ganić za usterki budowlane i kazać je usuwać w jak najszybszym czasie	Stwierdzone usterki budowlane powinny być bez zwłoki pisemnie ganione jeśli nie zostaną usunięte w trybie natychmiastowym Tylko w taki sposób utrzymają Państwo swoją pozycję prawną i po beczynnym upływie terminu zagrozić odmową usunięcia usterki przez danego wykonawcę. Wówczas mogą Państwo zlecić usunięcie usterki osobom trzecim i kosztami obciążyć wykonawcę. Usterki budowlane usuwane natychmiast w sposób fachowy, powodują mało problemów. Jeśli usunięcie usterek zostaje odwleczone w czasie i dopiero później usunięte, wówczas powoduje to często chaos w terminach planu przebiegu budowy. To kosztuje czas, nerwy i pieniądze.

Cel 5. Etap:	- Kontrolować zakres świadczeń oraz dobór materiałów - Codzienne odwiedzanie placu budowy - Prowadzić dziennik budowy i sporządzać dokumentację fotograficzną - Informować szybko o zauważonych usterkach, ganić za nie i kazać je szybko usunąć.
---------------------	--

6. Etap: Rozruch, eksploatacja próbna oraz odbiór instalacji biogazu

Rozruch	Faza rozruchu służy sprawdzeniu prawidłowości działania wszystkich ważnych elementów instalacji (agregaty, mechanizmy itp.) Jeśli jest to możliwe, zostają sprawdzone wszystkie sygnały sterowania oraz alarmowe jednostki sterującej. Rozruch instalacji biogazu może odbyć się jako tzw. „zimny” rozruch np. w ramach kontroli szczelności fermentatora, przy użyciu wody („rozruch wodny”). W tym czasie można sprawdzić częściowo także czujniki, np. czujniki stopnia zapełnienia pod kątem ich sprawności technicznej. Inne urządzenia pomiarowe i regulacyjne mogą zostać sprawdzone dopiero w trakcie eksploatacji instalacji (np. zabezpieczenia nad- i podciśnieniowe w fermentatorze). Mogą być prowadzone rozruchy poszczególnych komponentów, i tak np. rozruch elektrociepłowni blokowej z wykorzystaniem oleju lub gazu, lub rozruch pomp, bądź zaworów zasuwowych. „Ciepły” lub też biologiczny rozruch ma miejsce wraz z napełnieniem i podgrzaniem fermentatora i należy go rozumieć jako „płynne przejście” do eksploatacji próbnej.
Eksploatacja próbna	Eksploatacja próbna rozumiana jest jako „działanie pod obciążeniem” i ma inwestorowi i użytkownikowi instalacji posłużyć do upewnienia się, czy wszystkie komponenty instalacji działają bez zakłóceń w określonym przedziale czasu w sposób opisany w opisie świadczeń. Ustalenie wspomnianego okresu czasu odbywa się indywidualnie. Okres ten jest przedmiotem umowy podpisanej z producentem instalacji. Należy przy tym zwrócić uwagę, że koszty jedno- lub wielomiesięcznej eksploatacji próbnej wpłyną proporcjonalnie na kwotę inwestycji i tym samym przełożone na koszty kupującego instalację. Należy zatem oszacować, jak szybko powstanie stabilna populacja mikroorganizmów i tym samym też stabilny proces produkcji biogazu, gdyż dopiero wtedy da się sprawdzić wydajność instalacji. Okres ten jest silnie uzależniony od zastosowanej mieszanki substratów i przy stałej, mało wahającej się mieszaninie nastąpi dużo szybciej niż przy mieszaninie zmieniającej się. Dlatego powinna zawsze być przeprowadzana analiza kosztów i korzyści, aby faza eksploatacji próbnej nie była niepotrzebnie rozciągana w czasie i generowała koszty, ale jednocześnie by faza ta zapewniła pewność w odniesieniu do prawidłowości działania oraz wydajności instalacji. Dopiero po udanym przeprowadzeniu fazy prób ma miejsce odbiór instalacji biogazu lub jej komponentów.

Odbiór	Nie powinni Państwo nigdy rezygnować z formalnego odbioru instalacji lub jej części, nawet jeśli ich rozruch stanowi podstawę rozpoczęcia kolejnych prac. W przypadku stwierdzenia usterek utrudnione będzie ich usunięcie, gdyż brak jest protokołu zdawczego. Protokół zdawczy służy tym samym jako dokumentacja usterek i wskazanie ich sprawcy. Podczas odbioru powinny być zawsze obecne osoby kompetentne w danej dziedzinie i służące pomocą (wykwalifikowani pracownicy, rzeczoznawcy). W przypadku pojawienia się istotnych usterek można odmówić odbioru i tym samym dokonania ostatniej płatności. W przypadku usterek nieistotnych odbiór musi być dokonany, ale od ostatniej wpłaty można potrącić trzykrotność przewidywanych kosztów usunięcia usterek. Gotowa pod klucz instalacja biogazu przechodzi dopiero po udanym odbiorze na własność i tym samym odpowiedzialność kupującego instalację („przejęcie ryzyka“) Jeśli instalacja budowana jest przez zlecenie poszczególnych części robót, nie może nigdy dojść do odbioru całej instalacji, lecz zawsze do odbioru jej elementów konstrukcyjnych lub mechanizmów. Nie jest jednak tu jasny moment całkowitego przejęcia ryzyka całej instalacji.
Cel 6. Etap	- Rozruch instalacji biogazu - Faza eksploatacji próbnej instalacji biogazu, okres ustalany indywidualnie - Odbiór instalacji biogazu, wzgl. jej fragmentów  zapewnić sobie pomoc kompetentnych osób  sporządzić formalny protokół odbioru.

6.6 Eksploatacja instalacji

Aby zagwarantować stabilną eksploatację instalacji, zaleca się przestrzegać wskazówki zawarte w poniższej liście kontrolnej:

Informacje ogólne

- Założyć i prowadzić podręcznik użytkownika (obowiązek przedstawienia go do kontroli!)
- Wypracować plan awaryjny/ratowniczy! Uzyskanie pomocy ze strony doradcy, stowarzyszenia zawodowego
- Wdrożenie i przyuczenie personelu

Zaszczepianie

- Napełnianie fermentatora składowaną gnojówką lub zgniłym materiałem z innych instalacji biogazu o podobnej zasadzie działania.
- Podgrzanie fermentatora (mezofil: ok 39 °C; termofil: ok. 55 °C).
- Odczekać do wytworzenia się pierwszego gazu.
- Analiza wyprodukowanego gazu. Odczekać, aż zawartość metanu wzrośnie do ponad 50%.
- Analiza zawartości fermentatora (temperatura, wartość pH, zawartość kwasów lotnych, zawartość azotu i amonu, rezerwa wapnia) przez laboratorium (np. LUFA [Instytut Badawczo-Rozwojowy Rolnictwa] . Kontakt za pośrednictwem doradcy, wykonawcy instalacji lub biura planistycznego.
- Początek dodawania substratu

Dodawanie substratu

- Dodawanie małych ilości odpowiedniego substratu (np. gnojówki), aby uniknąć przeciążenia biologicznego. Czas przebywania powinien być w pierwszych tygodniach możliwie długi (może wynosić do 120 dni). Analiza materiału pochodzącego z fermentatora, jak i analiza gazu decydują tu o podwyższeniu ilości dodawanego substratu wzgl. skróceniu czasu przebywania.
- Bieżące analizowanie produkowanego gazu udział metanu nie może spaść poniżej 50%.
- Regularne kontrole wzgl. analizy zawartości fermentatora.
- Przy stabilnej produkcji gazu powolne (tygodniowe) zwiększanie ilości dodatku skrócenie czasu przebywania o odpowiednio ok. 10 %.

! Przy pogorszeniu jakości gazu na wzgl. poniżej 50% metanu w biogazie natychmiastowe wstrzymanie dodawania substratu i analiza materiału w fermentatorze na zawartość kwasów i wartość pH!

! Jeśli produkcja gazu spada z dnia na dzień, natychmiastowe wstrzymanie dodawania substratu i analiza materiału w fermentatorze na zawartość kwasów i wartość pH! Pod żadnym pozorem nie zwiększać dawek, gdyż nastąpiło prawdopodobnie przeciążenie biologii fermentatora!

! Zasada „dużo pomaga dużo“ NIE MA zastosowania przy „karmieniu” instalacji biogazu!

- Przy przeciążeniu biologii, dotrzymać okresu przerwy wynoszącego co najmniej jeden tydzień bieżąca kontrola wartości pH wzgl. analiza zawartości kwasów w treści fermentatora.
- Przy zwiększaniu się zawartości metanu w biogazie, ostrożnie wznowić dodawanie substratu w porozumieniu z doradcą, planistą instalacji.

Zbiornik gazu / Elektrociepłownia blokowa

- Regularna kontrola szczelności
- Kontrola wszystkich urządzeń zabezpieczających, przestrzegać „Zasad Bezpieczeństwa dla Rolniczych Instalacji Biogazu”
- W przypadku zewnętrznego zbiornika gazu: Kontrola instalacji gazowej i zaworów zasuwowych pod względem ich swobodnego przepływu, zapchania, szczelności, zamarznięcia.
- Przy wewnętrznych zbiornikach foliowych: Zbiornik musi się móc swobodnie rozwinąć. Nie mogą w pomieszczeniu wystawać żadne ostre przedmioty (śruby, kanty itp.).
- Bieżąca wzgl. regularna kontrola jakości gazu (CH₄, CO₂, H₂S, ewent. O₂).
- Przy procesie odsiarczania biologicznego kontrolować dostęp powietrza przez sprawdzenie zawartości tlenu (ok. 3-5 % produkcji gazu).
- Regularnie sprawdzać i opróżniać zbiornik na kondensat

! Instalacje biogazu działają przy nadciśnieniu w zakresie ok. 20 mbar! Odpowiada to strumieniowi wody do 20 cm. Jeśli zbierze się zbyt dużo kondensatu w rurach, przepływ gazu zostanie przerwany.

- Regularnie sprawdzać urządzenia zabezpieczające w elektrociepłowni blokowej oraz przeprowadzać ich konserwację (awaryjne wyłączanie, automatyczne wyłączanie przy zbyt niskiej zawartości metanu itp.).
- Przy silnikach gazowych: Regularnie sprawdzać zawór mieszanki gazu pod kątem jego prawidłowego działania i przestrzegać terminów konserwacji.
- Przy silnikach o zapłonie samoczynnym: Sprawdzać regularnie udział oleju przeznaczonego do zapłonu (< 10 %).

6.7 Spis literatury

- [6-1] ULLRICH, H. (1983): Anlagenbau. Georg-Thieme Verlag, Stuttgart, 1983
- [6-2] VDI (1997): VDI-Gesellschaft Energietechnik (Hrsg.): Vertragsmanagement für energietechnische Anlagen: Planung bis Betrieb. VDI-Bericht 1337, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1997
- [6-3] Fichtner GmbH & Co KG, Stuttgart, zitiert in: Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.