

INWESTOR	 Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych Spytkowo Sp. z o.o. Spytkowo 69 11-500 Giżycko
WYKONAWCA	 proGEO sp. z o.o. 50-541 Wrocław, Al. Armii Krajowej 45 tel. +48 71 360 45 15
TEMAT OPRACOWANIA	Analiza dostępnych technologii biologicznego przetwarzania odpadów ZAŁĄCZNIK NR 1 DO Koncepcji techniczno-technologicznej budowy instalacji fermentacji metanowej odpadów komunalnych i innych odpadów ulegających biodegradacji dla ZUOK SPYTKOWO
LOKALIZACJA	DZ. NR 185, OBRĘB ŚWIDRY, GMINA GIŻYCKO

Dokument opracował zespół pod kierunkiem:

Kierownik zespołu Imię i Nazwisko	Specjalność Nr uprawnień Zakres	Podpis	Data
mgr Andrzej Krzyśków	---		05.2022 r.

Skład zespołu projektowego:

mgr Andrzej Krzyśków
dr Sławomir Chybiński

mgr inż. Oliwia Rybczak
mgr Agata Niwińska

Wrocław, maj 2022 r.

SPIS TREŚCI

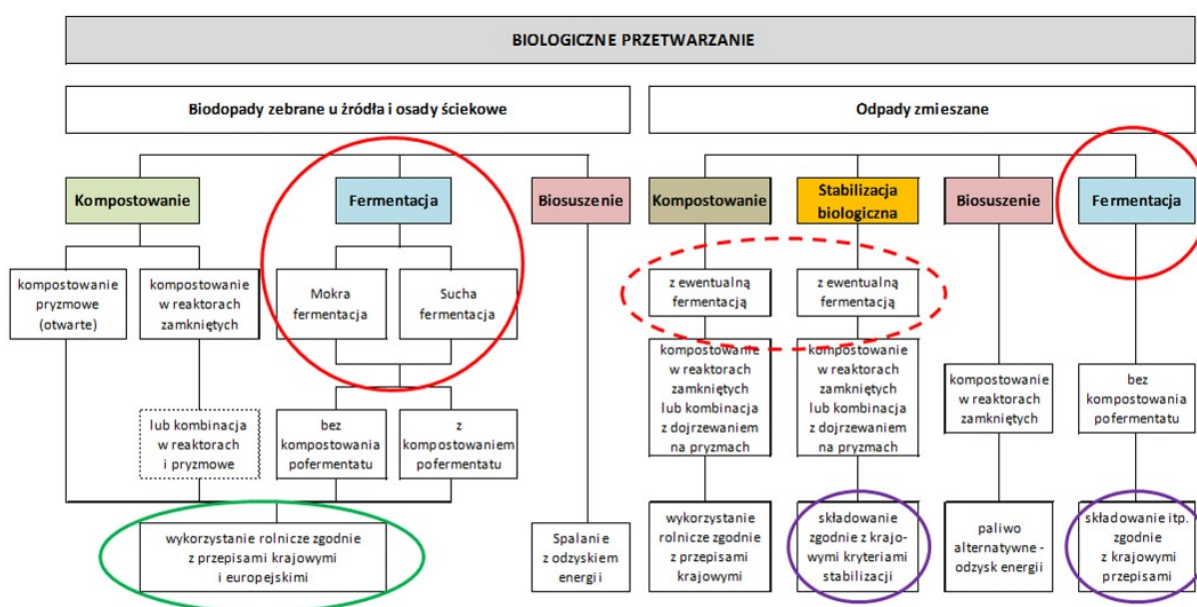
1. WSTĘPNA CHARAKTERYSTYKA DOSTĘPNYCH TECHNOLOGII ZAGOSPODAROWANIA ODPADÓW BIODEGRADOWALNYCH	3
1.1 Wprowadzenie	3
1.2 Ogólna charakterystyka kompostowania selektywnie zebranych odpadów ulegających biodegradacji	3
1.3 Ogólna charakterystyka fermentacji	6
1.3.1 Podział technologii fermentacji	8
1.4 Certyfikacja kompostu – ścieżka postępowania do uzyskania produktu o charakterze handlowym	9
2. CHARAKTERYSTYKA PORÓWNAWCZA TECHNOLOGII KOMPOSTOWANIA ODPADÓW W SYSTEMIE ZAMKNIĘTYM, WYTYCZNE PROCESU I PRZYGOTOWANIE WSADU	12
2.1 Przygotowanie odpadów do procesu	12
2.2 Wymagane parametry minimalne dla instalacji kompostowania odpadów w systemie zamkniętym - wytyczne	12
2.3 Opis wybranych technologii	14
2.3.1 Technologia Nova-Komp	14
2.3.2 Technologia Hantsch	17
2.3.3 Technologia Ar-Val	19
2.3.4 Technologia Strabag	20
2.3.5 Inne technologie (Entsorga, Eggersmann)	21
2.4 Podsumowanie i wytyczne	22
3. CHARAKTERYSTYKA PORÓWNAWCZA FERMENTACJI CIĄGŁEJ I OKRESOWEJ, WYTYCZNE PROCESU I PRZYGOTOWANIE WSADU	24
3.1 Wytyczne prowadzenia procesu	24
3.2 Przygotowanie wsadu	24
3.3 Odstawa frakcji pofermentatu	26
3.4 Odwadnianie pofermentatu	26
3.5 Zagospodarowanie biogazu	28
3.6 Spalanie biogazu w jednostce kogeneracyjnej (CHP)	29
3.7 Wykorzystanie biogazu do napędu pojazdów (CNG)	30
4. CHARAKTERYSTYKA PORÓWNAWCZA FERMENTACJI CIĄGŁEJ I OKRESOWEJ	33
4.1 Przykłady technologii fermentacji ciągłej i okresowej	33
4.1.1 Przykłady technologii suchej fermentacji ciągłej	33
4.1.2 Przykłady technologii suchej fermentacji perkolacyjnej	39
4.2 Praktyczne zastosowanie poszczególnych technologii fermentacji	42
4.2.1 Przegląd technologii w Europie i Polsce	42
4.2.2 Możliwości produkcji biometanu w Europie	50
4.2.3 Przykłady technologii fermentacji (stabilizacji beztlenowej) w Polsce	51
4.3 Podsumowanie	53

1. WSTĘPNA CHARAKTERYSTYKA DOSTĘPNYCH TECHNOLOGII ZAGOSPODAROWANIA ODPADÓW BIODEGRADOWALNYCH

1.1 Wprowadzenie

Generalny podział procesów biologicznego przetwarzania oraz technologie rekomendowane dla poszczególnych strumieni odpadów przedstawiono na poniższym rysunku.

Rysunek 1.1 Przetwarzanie biologiczne odpadów – schemat



Na podstawie: [Bio. Subgroup 2014] Subgroup for biological treatment of waste C2_AD_14-07-03_Applied processes and techniques oraz za Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit European IPPC Bureau, Draft 1, December 2015

Podział biologicznego przetwarzania związany jest z rodzajem odpadów poddawanych procesowi. Przyjęto, że procesy kompostowania i fermentacji dotyczą odpadów, z których powstają produkty nawozowe, które podlegają rolniczemu wykorzystaniu. Jeżeli wśadtem do procesu są odpady zmieszane to procesy nazywamy stabilizacją (tlenową lub beztlenową). Odpady zmieszane w procesach stabilizacji czy biosuszenia wymagają zastosowania reaktorów zamkniętych. Stabilizat przeznaczony jest do składowania na składowiskach. Dodatkowo możliwe jest biosuszenie przed procesem spalania z odzyskiem energii.

1.2 Ogólna charakterystyka kompostowania selektywnie zebranych odpadów ulegających biodegradacji

W literaturze można wyróżnić wiele podziałów technologii prowadzenia procesu stabilizacji tlenowej (kompostowania), np. w zależności od faz procesu (termofilowa – intensywna i mezofilowa – dojrzwianie), od obiektu, w którym prowadzony jest proces (systemy reaktorowe i niereaktorowe), sposobu prowadzenia procesu (proces dynamiczny

i statyczny) itp. Raport, w którym dokonano podziału technologii stabilizacji oraz oceniono zgodność z przepisami krajowymi i wymaganiami BAT (najlepszych dostępnych technik). W tabeli poniżej zestawiono podział technologii wraz z określonym w Raporcie stopniem wypełnienia przepisów rozporządzenia o MBP (nieobowiązujące) oraz wymagań BREF BAT.

Tab. 1.1. Podział technologii stabilizacji tlenowej (oraz kompostowania) wraz ze spełnieniem wymagań przepisów

Lp	Technologia stabilizacji tlenowej	wymagania krajowe	wymagania BAT*
1	w pryzmach w hali	spełnia	spełnia
2	w boksach żelbetowych w hali	spełnia	spełnia
3	w reaktorach żelbetowych zamkniętych stropem żelbetowym	spełnia	spełnia
4	w reaktorach żelbetowych zamkniętych dachem z tworzywa sztucznego	spełnia	spełnia (dla dachu dwuwarstwowego) nie spełnia [1] (dla jednowarstwowego)
5	w reaktorach stalowych	spełnia	nie spełnia [1]
6	w reaktorach żelbetowych z dachem membranowym	spełnia	nie spełnia [2]
7	w pryzmach z przykryciem membranowym	nie spełnia	nie spełnia [6]
8	w biostabilizatorze	nie spełnia	nie spełnia [4]
9	w komposterze	nie spełnia	nie spełnia [7]
10	w rękawach foliowych	nie spełnia	nie spełnia [7]
11	w pryzmach na placu	nie spełnia	brak oceny

* analiza 9 wymagań, w nawiasach [x] ilość wymagań, które nie są spełnione

Należy zauważyć, że Raport nie stanowi oficjalnej interpretacji przepisów prawnych. Najbardziej rozpowszechnione w Polsce są technologie w reaktorach żelbetowych ze stropem żelbetowym, z tworzywa sztucznego lub dachem membranowym. Z szeregu dostępnych technologii najczęściej stosowane są technologie Biodegma, Nova-Komp, Compost-Systems i Hanstch. Z innych technologii stosowanych w kraju należy wymienić: system dynamiczny w otwartych boksach w hali BIOFIX, systemy zamkniętych boksów żelbetowych w hali – M-U-T Kyberferm, Strabag, ECS, Eggersmann, systemy żelbetowych tuneli z dachem żelbetowym - Entsorga, WTT, IGLux, Ocene, Greenpro, Compostino, Christiaens, Herhof, Vauche, Ar-Val, Kompoz. Stosunkowo często wykorzystywane są instalacje w rękawach foliowych, instalacje z przykryciem membranowym (pryzmowe, ze ścianami bocznymi, pod wiatą, np. technologie Biodegma, Equipo), instalacje w halach (najczęściej z przerzucaniem za pomocą przerzucarki bramowej) oraz instalacje bazujące na reaktorach stalowych (Kneer, ECS).

Warunkami zachowania właściwej eksploatacji i spełnienia wymagań w zakresie ograniczenia emisji z tych instalacji jest:

- prowadzenie procesów w obiektach zamkniętych, wyposażonych w system wentylacji, z możliwością ujmowania i oczyszczania powietrza;
- sterowanie procesem stabilizacji w oparciu o bieżący pomiar przynajmniej temperatury, zalecany jest również monitoring wybranego wskaźnika świadczącego o zachodzących procesach biodegradacji – np. pomiar zawartości tlenu lub dwutlenku węgla w powietrzu poprocesowym;
- wyposażenie w instalację napowietrzania zapewniającą utrzymanie warunków tlenowych podczas całego okresu fazy intensywnej, z możliwością dostosowania intensywności

- napowietrzania do wymagań fazy procesu oraz zapewniającą ujęcie i oczyszczanie powietrza procesowego;
- wyposażenie w urządzenia oczyszczania powietrza procesowego ujmowanego w fazie intensywnej, zapewniające redukcję emisji związków organicznych, odorów i związków azotu;
 - wyposażenie w instalację nawadniania i ujmowania ścieków procesowych, z możliwością recyrkulacji wód procesowych.

Rysunek 1.2. Przykłady instalacji do stabilizacji tlenowej (fot. proGEO)



Technologia pryzmowa w hali Nova-Komp, Ślajzino (1), dynamiczna BIOFIX, Radom (2), M-U-T, Myślenice (2)



Technologia Nova-Komp, Rudna Wielka (3), Hantsch, Domaszkowice (4, dach dwuwarstwowy), Compost-Systems, Gać (4)



Technologia Kneer, Bolesławiec (5), Biodegma, Olszowa (6), przykrycie GORE, Elbląg (7)



Biostabilizator M-U-T Dano, Radiowo (8), komposter M16, Paszczyna (9), rękawy foliowe, Lubin (10)



Technologie stabilizacji na placu (11): z napowietrzaniem w wiacie, z napowietrzaniem na placu, przyzłomowa

1.3 Ogólna charakterystyka fermentacji

Zaletą fermentacji (stabilizacji beztlenowej) jest produkcja biogazu i możliwość jego energetycznego wykorzystania. Obecnie technologie fermentacji pozwalają z powodzeniem stabilizować frakcję biodegradowalną z odpadów komunalnych zmieszanych jak i z selektywnie zebranych odpadów biodegradowalnych. Technologia stabilizacji beztlenowej jest technologią sprawdzoną, wykonalną, efektywną i posiadającą wieloletnie doświadczenia eksploatacji. Technologia fermentacji jest uzupełnieniem procesu stabilizacji tlenowej, a nie jest technologią konkurencyjną (fermentacja stanowi pierwszy etap procesu stabilizacji). Może być ona realizowana równolegle w procesie inwestycyjnym lub jako drugi etap inwestycji, także w odrębnej formule właścicielskiej. Fermentacja stanowi źródło przychodów i oszczędności, m.in.: sprzedaż energii elektrycznej, sprzedaż energii cieplnej (sieci ciepłownicze, odbiorcy przemysłowi), wytwarzanie chłodu, możliwość sprzedaży komponentów nawozowych z systemu odsiarczania i dezodoryzacji, oszczędność zużycia energii na własne potrzeby zakładu, oszczędność z uwagi na wykorzystanie energii cieplnej (biosuszenie, suszenie RDF, wytwornica chłodu – system klimatyzacyjny zakładu), skrócenie procesu stabilizacji tlenowej. Możliwe jest także zastosowanie biogazu jako paliwa do napędu pojazdów czy jako substytutu gazu ziemnego. Do tych celów należy biogaz oczyścić i wzbogacić (zwiększyć zawartość metanu, wyeliminować dwutlenek węgla, siarkowodor i inne zanieczyszczenia). W ostatnich latach nastąpił rozwój technologii oczyszczania biogazu (np. metody membranowe, zmiennociśnieniowej adsorpcji, niskociśnieniowej płuczki aminowej). Biorąc pod uwagę liczne korzyści, przetwarzanie odpadów z wykorzystaniem fermentacji metanowej powinno być preferowanym sposobem postępowania z odpadami biodegradowalnymi wydzielonymi ze strumienia odpadów zmieszanych [Saveyn, Eder, 2015 i Jędrzak 2014].

Zainteresowanie przetwarzaniem odpadów poprzez fermentację wzrosło w ostatnich 30 latach. W 2017 roku, produkcja biogazu z odpadów w Europie wyniosła 1,94 mln m³ (European Biogas Association, 2019), co wskazuje na przetworzenie średnio ok. 5% wszystkich wytworzonych odpadów biodegradowalnych w Europie (De Baere i Mattheeuws, 2014, Rocamora i inn., 2020).

W Europie funkcjonuje ponad 1000 instalacji, w tym ok. 500 w Niemczech i ok. 140 we Włoszech oraz Wielkiej Brytanii (Carp, Mocanu, 2020).

W Finlandii, 90% produkcji biogazu opiera się na przetwarzaniu selektywnie zebranych odpadów ulegających biodegradacji oraz frakcji organicznej ze zmieszanych odpadów komunalnych (OFMSW). Resztę stanowi produkcja wynikająca z przetwarzania osadów ściekowych (5%) oraz odpadów rolniczych (5%). W przypadku Holandii, po wyłączeniu z

użycia składowisk, produkcja biogazu z odpadów biodegradowalnych oraz zmieszanych odpadów komunalnych wynosi ok. 40% całkowitej produkcji (Winqvist, Van Galen i inn., 2020).

Można się spodziewać, że ilość zakładów fermentacji będzie wzrastać, nie tylko ze względu na produkcję energii odnawialnej, ale także ze względu na zmniejszenie emisji odorowych i niewielką wymaganą powierzchnię. Dodatkowo, przetwarzanie odpadów za pomocą fermentacji metanowej zmniejsza ilość dwutlenku węgla – zgodnie z badaniami wykonanymi na terenie Włoch, stwierdzono że fermentacja odpadów w porównaniu do ich spalania zmniejsza ilość wytworzonego dwutlenku węgla od 10 do ok. 90% (Demichelis i in., 2019).

Różne rodzaje odpadów organicznych nadają się jako surowiec wsadowy do procesu fermentacji, na przykład:

- odpady rolnicze,
- zbierane selektywnie bioodpady z gospodarstw domowych,
- organiczna frakcja z odpadów zmieszanych,
- odpady z ogrodów i parków,
- tłuszcze,
- resztki żywności z kuchni, hoteli i restauracji,
- przeterminowana żywność,
- obornik,
- szlamy przemysłowe i osady ściekowe z oczyszczalni ścieków komunalnych.

W przeciwieństwie do procesu tlenowego jednym z głównych ograniczeń fermentacji jest niezdolność do rozkładu ligniny (główny składnik drewna). Charakterystyka wsadu ma bardzo istotny wpływ na proces fermentacji, wydajność biogazu oraz na jakość pofermentatu. Wysokie stężenia metali ciężkich we wsadzie mogą być toksyczne dla bakterii metanotwórczych (w następującej kolejności rosnącego oddziaływania: żelazo <kadm <cynk <chrom <ołów <miedź <nikiel).

Najlepsze efekty w zakresie ilości biogazu oraz jakości pofermentatu uzyskuje się z odpadów ze zbiórki selektywnej. Dla odpadów zanieczyszczonych przed procesem fermentacji należy zastosować obróbkę wstępną, obejmującą m.in. sortowanie mechaniczne, optyczne (nowa technologia), ręczne. W przypadku frakcji organicznej z odpadów zmieszanych istnieje ryzyko szybszego zużycia instalacji (np. ścieranie, zatory, itp.). Twarde, duże elementy wpływają negatywnie na urządzenia modułu odwadniania.

Proces beztlenowy prowadzi do produkcji metanu o teoretycznym poziomie 348 Nm³/Mg COD (chemiczne zapotrzebowanie tlenu). Suchy biogaz ma typowy skład 55-70% metanu, 30-45% dwutlenku węgla i 50-4000 ppm siarkowodoru i inne śladowe substancje lotnych. Produkcja biogazu i stosunek metanu do dwutlenku węgla zależy od wsadu i temperatury procesu. Ogólnie, fermentacja beztlenowa produkuje 100-200 Nm³ biogazu na tonę frakcji biologicznej z odpadów komunalnych (najwyższe wartości osiągnięte są dla bioodpadów i odpadów restauracyjnych). Biogaz jest bardzo wrażliwy na substraty i może się zmieniać w przeliczeniu na tonę w zależności od materiału wsadowego. Biogaz wykorzystywany może być do produkcji ciepła (kocioł), produkcji energii elektrycznej i ciepłej (skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej - CHP). Ciepło jest najbardziej efektywnie jeżeli jest wykorzystane na miejscu lub lokalnie, podczas gdy energię elektryczną można wykorzystać na potrzeby własne lub podłączyć do sieci elektrycznej. Alternatywnie, biogaz można

waloryzować (usunięcie dwutlenku węgla i innych gazów zanieczyszczających), w celu wygenerowania biometanu. Dla osiągnięcia wymaganej wartości opałowej gazu dopuszcza się dodanie propanu do biometanu. Biometan można włączyć do sieci dystrybucyjnej gazu ziemnego lub używać jako paliwa transportowe (w sposób podobny do LPG lub CNG).

Podsumowanie: korzyści stabilizacji beztlenowej (fermentacji):

- ✓ Wielokrotnie potwierdzono efektywność (pod względem gospodarczym i środowiskowym) procesu fermentacji, technologia generuje przychody.
- ✓ Technologia stabilizacji beztlenowej jest technologią sprawdzoną, wykonalną, efektywną, i rekomendowaną w kraju i Unii Europejskiej, o wieloletnich doświadczeniach eksploatacyjnych.
- ✓ Technologia fermentacji pomaga w osiągnięciu docelowego udziału energii odnawialnej w ostatecznym zużyciu energii i jest alternatywą dla produktów i energii opartych na paliwach kopalnych.
- ✓ Fermentacja powoduje lepszą stabilizację odpadów (przyspieszenie procesu, lepsza efektywność) i zmniejszenie uciążliwości zapachowej.
- ✓ Biogaz jest źródłem energii elektrycznej, ciepłej i chłodu. Możliwe jest także zastosowanie biogazu jako paliwa do napędu pojazdów czy jako substytutu gazu ziemnego (do tych celów należy biogaz oczyścić i wzbogacić - zwiększyć zawartość metanu, wyeliminować dwutlenek węgla, siarkowodor i inne zanieczyszczenia).

1.3.1 Podział technologii fermentacji

Istnieje wiele różnych technologii stosowanych w procesach fermentacyjnych. Główny podział opiera się na temperaturze fermentacji: proces termofilowy (na poziomie około 55°C) i mezofilowy (na poziomie około 40°C) oraz na wartości suchej masy w fermentowanym wsadzie: technologia sucha (15-40% suchej masy) i mokra (poniżej 15% suchej masy). Zasadniczo, im wyższa temperatura, tym krótszy czas procesu. Niemniej jednak proces termofilowy jest trudniejszy do kontrolowania i będzie potrzebował więcej energii do ogrzewania z powodu wyższych strat ciepła (możliwa jest większa emisja amoniaku i siarkowodoru).

Istotnym zagadnieniem jest higienizacja odpadów. W przypadku fermentacji termofilowej często proces higienizacji uznawany jest za pełny. W przypadku fermentacji mezofilowej wymagane jest (np. w Niemczech) dodatkowy proces higienizacji (70°C, 1 godzina). Dodatkowo możliwe jest wspieranie higienizacji w procesie wstępnego przygotowania (termicznego) wsadu do fermentacji w bioreaktorach wstępnego przetwarzania np. typu BRS, Dano.

Podział technik fermentacji beztlenowej według dokumentu referencyjnego BREF BAT 2018 przedstawia się następująco:

- mokra, jedno lub wielostopniowa,
- sucha, ciągła,
- sucha, okresowa.

Rozróżnienie technologii stabilizacji beztlenowej oparte jest na następujących parametrach [Jędrzak, 2008 i Krzyśków i in., 2009]:

- wilgotność substratu - fermentacja mokra (<15% s.m., stabilna produkcja gazu, konwencjonalne metody transportu, ale większa pojemność reaktora, dodatkowe

- procesy rozdziału fazy stałej i mokrej) lub sucha (15-40% s.m., mała objętość reaktora, ale specjalne techniki transportu i mieszania),
- temperatura - fermentacja mezofilowa (35-40°C, 15-30 dni, proces stabilny, małe zapotrzebowanie energii procesowej, ale brak pełnej higienizacji produktu) lub termofilowa (55-60°C, 12-21 dni, wyższy stopień rozkładu, pełna higienizacja produktu, ale wrażliwość na wahania temperatury),
 - liczba stopni fermentacji - technologie jednostopniowe (prosty sposób prowadzenia procesu, niższe nakłady inwestycyjne i eksploatacyjne), wielostopniowe (skrócenie czasu I etapu, ale większe nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne, zaleta - większa produkcja biogazu),
 - sposób mieszania - mieszanie mechaniczne przy zastosowaniu mieszadła mechanicznego, mieszanie pneumatyczne z recyrkulacją biogazu przez reaktor, reaktor ze stałym złożem (bez mieszania i recyrkulacji zawartości reaktora),
 - przepływ substancji - ciągły (wyższa wydajność, dobre wymieszanie zawartości, równomierna produkcja biogazu, automatyzacja procesu, ale wyższe nakłady inwestycyjne) lub okresowy (tańsze rozwiązanie, ale wyższe koszty eksploatacyjne, nierównomierność produkcji biogazu, niższy stopień rozkładu),
 - typ komory fermentacyjnej - komory pionowe lub poziome.

W zakresie fermentacji (stabilizacji beztlenowej), zgodnie z opisem podstawowych dostępnych technologii (WT BREF 2018, tab. 4.17. str. 357) wydzielono:

- **fermentacja mokra** (zawartość suchej masy poniżej 15%) - proces może być zastosowany dla bioodpadów z gospodarstw domowych, przemysłu, handlu i rolnictwa oraz dla odchodów zwierzęcych i roślin energetycznych;
- **fermentacja sucha ciągła** (pionowe lub poziome komory fermentacyjne, zawartość suchej masy 15-40%) - proces może być zastosowany dla bioodpadów z gospodarstw domowych, przemysłu, handlu i rolnictwa oraz frakcji organicznej ze zmieszanych odpadów komunalnych;
- **fermentacja sucha okresowa** (perkolacyjna, „garażowa”) – proces jest powszechnie stosowany dla wymieszanych odpadów kuchennych i ogrodowych o znacznej zawartości materiału strukturalnego oraz obornika i roślin energetycznych.

Coraz częściej w Europie budowane są instalacje hybrydowe, tzn. mające część fermentacji mokrej i suchej oraz jeden węzeł waloryzacji biogazu. Trafiające na taki zakład odpady kierowane są do odpowiedniej strefy przygotowania wsadu (odmiennej dla poszczególnych technologii), a następnie do fermentacji mokrej lub suchej. Korzyścią jest możliwość poszerzenia substratów do fermentacji i maksymalizacja produkcji biogazu.

1.4 Certyfikacja kompostu – ścieżka postępowania do uzyskania produktu o charakterze handlowym

Powstały w wyniku procesu kompostowania produkt, zgodnie z ustawą z dnia 10 lipca 2007 roku o *nawozach i nawożeniu* (tj. Dz.U. 2018 poz. 1259 ze zm.), może zostać wprowadzony do obrotu jako nawóz lub środek wspomagający uprawę roślin na podstawie uzyskanego pozwolenia udzielonego przez ministra właściwego do spraw rolnictwa.

Przed przystąpieniem do procedury certyfikacji, producent powinien dysponować badaniami laboratoryjnymi kompostu mówiącymi o zawartościach składników pokarmowych, o zanieczyszczeniach bakteriologicznych i ilościach metali ciężkich zawartych w materiale. Warunki, jakie należy spełnić aby uzyskać ww. pozwolenie określono w rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2008 nr 119 poz. 765 ze zm.). Na podstawie wyników jakościowych, przebiegu kompostowania oraz substratów uczestniczących w procesie, następuje analiza możliwości wprowadzenia kompostu do obrotu handlowego. Po tak przeprowadzonej analizie, producent podejmuje decyzję na temat dalszej ścieżki postępowania.

Po zadeklarowaniu składu jakościowego kompostu i uzyskaniu pozytywnych wyników badań laboratoryjnych, producent występuje do jednego z Państwowych Instytutów Badawczych, w celu uzyskania opinii dotyczącej spełniania przez kompost norm jakościowych. W przypadku kompostowania ubocznych produktów pochodzenia zwierzęcego wymagane jest uzyskanie opinii weterynaryjnej. Kolejnymi niezbędnymi opiniami

do uzyskania są opinie o przydatności do stosowania. Dodatkowo musi zostać sporządzona instrukcja stosowania i przechowywania kompostu, a także karta charakterystyki produktu. Opinie, w zależności od docelowego zastosowania kompostu, wydają Państwowe Instytuty Badawcze.

Docelowy sposób wykorzystania kompostu:

- w uprawach polowych,
- w uprawach roślin warzywnych,
- w uprawach sadowniczych,
- w uprawach roślin ozdobnych i na trawnikach,
- do stosowania w lasach,
- do stosowania na użytkach zielonych.
- na terenach zdegradowanych.

Kolejnymi opiniami jakie producent powinien uzyskać przed wystąpieniem do ministerstwa o decyzję, są opinie dotyczące oddziaływania kompostu na zdrowie ludzi, zwierząt i środowisko. Opinie te wydają: Państwowy Instytut Weterynaryjny, Instytut Medycyny Wsi oraz Instytut Ochrony Środowiska. Wniosek o pozwolenie na wprowadzanie do obrotu kompostu wraz z wynikami badań laboratoryjnych oraz uzyskanymi opiniami składany jest do Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

Wraz z uzyskaniem certyfikatu pojawia się konieczność znalezienia odbiorcy na wytworzony produkt. Jedna grupa producentów zadowala się wyłącznie utratą statusu odpadu i możliwością zagospodarowania kompostu we własnym zakresie albo przekazania go za symboliczną złotówkę. Druga grupa producentów, chcąc uzyskać satysfakcjonujący przychód, prowadzi kampanie promujące kompost wśród lokalnych rolników, ogrodników czy wytwórców owoców. Aktywny marketing i reklama pozwalają osiągnąć rozpoznawalność produktu i uzyskać wyższą cenę ze sprzedaży.

Należy pamiętać, że wytwórcy kompostu mają możliwość udoskonalenia jakości swoich wyrobów. Czynić to mogą poprzez poszukiwanie optymalnego wsadu do procesu kompostowania oraz wzbogacając proces innym substratami, np. domieszkami torfu, materiałów ilastych czy mączki kamiennej. Ważnym zadaniem przed wprowadzeniem środka do obrotu jest wydzielenie drobnych kamieni i stłuczki szklanej oraz elementów folii poprzez np. mechaniczną separację części ciężkich i lekkich, co przyczyni się przede wszystkim do

poprawy wizualnej kompostu. Wyróżnikiem na rynku może być również elastyczność i umiejętność dostosowania się do partnera handlowego poprzez np. dobór pożądanej granulacji albo możliwość konfekcjonowania produktu. Dotarcie do szerszej grupy odbiorców można także uzyskać poprzez zwiększenie liczby kierunków przydatności do stosowania wytwarzanego środka.

Wartą uwagi jest również szansa umieszczenia wytworzonego produktu na liście środków, które mogą być stosowane w rolnictwie ekologicznym. Zagadnienie to poruszają Rozporządzenie Rady (WE) nr 834/2007 oraz Komisji (WE) nr 889/2008, a także ustawa o rolnictwie ekologicznym (t.j. DzU z 2017 r. poz. 1054). Obecność na liście umożliwia stosowanie produktu w rolnictwie ekologicznym oraz rozpościera przed producentem nowe możliwości współpracy z podmiotami działającymi w branży spożywczo-rolnej.

Kolejną szansą, która wkrótce pojawi się na polskim rynku będzie dostęp produktów nawozowych do jednolitego rynku UE. Dzięki wydanemu w czerwcu 2019 r. Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 ustanawiającego przepisy dotyczące udostępniania na rynku produktów nawozowych UE, zmieniające rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 2003/2003 producent będzie mógł oznaczyć swój produkt symbolem „UE”, co pozwoli mu poszukiwać kontrahentów poza granicami kraju.

2. CHARAKTERYSTYKA PORÓWNAWCZA TECHNOLOGII KOMPOSTOWANIA ODPADÓW W SYSTEMIE ZAMKNIĘTYM, WYTYCZNE PROCESU I PRZYGOTOWANIE WSADU

2.1 Przygotowanie odpadów do procesu

Intensywność rozkładu zależy od składu wsadu i stosowanej technologii. Bardzo łatwo ulegają rozkładowi tłuszcze, większość cukrów (skrobia) i białek, trudniej celuloza, a lignina i np. keratyna bardzo trudno. Faza intensywna ma kluczowe znaczenie dla procesów higienizacji odpadów (55-70°C). W celu zapewnienia prawidłowego procesu należy zapewnić odpowiedni (Skalmowski, 2007):

- skład fizyczny i chemiczny wsadu (odpowiednia struktura materiału),
- stosunek zawartości węgla organicznego do azotu organicznego (C/N 20-35, optymalnie 25-30),
- odczyn pH w masie kompostowej (5,5-8,0, optymalnie 6,6-7,5),
- wilgotność kompostowanego materiału (40-60%),
- dobre napowietrzanie w trakcie całego procesu, zwłaszcza w okresie początkowym,
- rozwój dostatecznej ilości mikroorganizmów potrzebnych do rozkładu substancji organicznej,
- utrzymanie właściwej temperatury w masie kompostowanej.

Należy zapewnić właściwe przygotowanie wsadu do procesu. Należy sprawdzić podstawowe dane wsadu (analiza laboratoryjna w pierwszym etapie działalności, metody polowe sprawdzające) i w razie potrzeby dokonać odpowiednich korekt (np. nawilżenie wsadu przed procesem lub w jego trakcie, dodanie materiału strukturalnego w przypadku niskiej porowatości, odpowiednie wymieszanie i homogenizacja wsadu przed załadunkiem do reaktora itp.).

2.2 Wymagane parametry minimalne dla instalacji kompostowania odpadów w systemie zamkniętym - wytyczne

Dla scharakteryzowania podstawowych parametrów instalacji należy określić: minimalną ilość odpadów, gęstość odpadów, minimalny czas przetrzymania w bioreaktorze wraz z zapelnianiem i rozładunkiem, minimalną pojemność roboczą instalacji, minimalną ilość reaktorów, obliczeniową i maksymalną wysokość załadunku w reaktorze, obliczeniową krotność wymiany powietrza w tunelu, obliczeniową ilość powietrza procesowego do oczyszczenia na biofiltrze, minimalną powierzchnię instalacji, przewidywane zużycie wody oraz energii elektrycznej włącznie z biofiltrem.

Reasumując rozważania prawno-technologiczne należy zwrócić szczególną uwagę na poniżej określone minimalne parametry i wymagania.

- wszystkie elementy, będące w kontakcie z zanieczyszczonym powietrzem lub odciekami powinny być wykonane z surowców, wytrzymałych w agresywnych warunkach (pH 4 i 400 ppm NH₃), przy skrajnych temperaturach oraz wilgotności (należy unikać lokalizacji elementów mogących ulec korozji typu śruby, nity, konstrukcje wewnątrz bioreaktorów),

- każdy reaktor powinien być niezależny (zamknięcie, aktywne napowietrzanie, wyciąg zanieczyszczonego powietrza do biofiltra, sterowanie procesem oraz monitoring),
- ściany wewnątrz bioreaktorów nie powinny zawierać żadnych występow, zwężeń lub elementów konstrukcyjnych, które mogłyby zostać uszkodzone w trakcie załadunku lub rozładunku ładowarką (wysokość ścian min. 3,5m), a konstrukcja ścian powinna uwzględniać gradient temperatury związany z procesem termofilowym stabilizacji,
- dysze lub otwory w płycie napowietrzającej powinny być zaprojektowane oraz wykonane tak, aby nie następowała ich kolmatacja oraz powinny zapewniać możliwość łatwego czyszczenia bez konieczności stosowania dodatkowych materiałów,
- napowietrzanie powinno uwzględniać min. 7-krotną wymianę powietrza w ciągu godziny,
- system sterowania powinien pozwolić na ciągłą wizualizację oraz rejestr danych, a także na monitoring zmian AT_4 w czasie rzeczywistym, w oparciu o zużycie tlenu w czasie stabilizacji lub inną metodę podaną przez dostawcę technologii (algorytm),
- płyta napowietrzająca powinna być zaprojektowana w taki sposób, żeby możliwy był przejazd ładowarki, nie powodując uszkodzenia kanałów napowietrzających,
- odcieki ze stabilizowanych odpadów powinny być zbierane przez kanały,
- odprowadzanie nieoczyszczonego powietrza procesowego powinno pozwalać na utrzymanie reaktorów w podciśnieniu, niezależnie od tego czy wentylator nadmuchujący jest uruchomiony,
- instalację należy wyposażyć w system ujmowania i oczyszczania nieoczyszczonego powietrza procesowego (biofiltracja wraz ze zintegrowaną lub niezależną płuczką), a parametry biofiltra oraz jego wielkość powinny być dostosowane do ilości przetwarzanych odpadów (poparte wynikami obliczeń).
- należy zapewnić 30 sekundowy czas styku powietrza procesowego ze złożem biofiltra lub obciążenie poniżej $150\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ lub $<100\text{m}^3/\text{m}^3\text{h}$ oraz zapewnić kontrolę temperatury złoża biofiltra (biofiltr powinien być wyposażony w alarm niskiej temperatury złoża).
- powietrze dostarczane do reaktorów powinno być wdmuchiwane od dołu do góry przez płytę napowietrzającą z kanałami (dopuszcza się naprzemienne wdmuchiwanie powietrza od dołu do góry i od góry do dołu),
- system napowietrzania powinien gwarantować jednolity rozkład powietrza (powyżej 90-95%) na całej długości kanałów napowietrzających, bez względu na stopień wypełnienia reaktora,
- sterowanie powinno być regulowane za pomocą pomiaru nasycenia co najmniej temperaturą i tlenem (osobno dla każdego reaktora),
- należy umożliwić asystę *on-line* z technologiami dostawcy technologii (internetowa łączność i weryfikacja danych),
- pożądane jest umożliwienie wtłaczania do procesu podgrzanego powietrza (świeżego) bez wydatku energii,
- otwieranie bram reaktorów nie powinno ograniczać ruchu maszyn w strefie załadunku i rozładunku i otwierać się na całej szerokości reaktora.

2.3 Opis wybranych technologii

W kraju dominują 4 typy instalacji, które posiadają wybudowanych ponad 10 obiektów: NOVA-KOMP, HANTSCH, COMPOST SYSTEMS, BIODEGMA. Po kilka instalacji wybudowano w technologii: BIOFIX, STRABAG, EQUIPO, EGGERSMANN, ENTSORGA.

Do analizy wybrano 4 następujące technologie: Nova-Komp, Hantsch, Ar-Val, Strabag. Poniżej przedstawiono wybrane instalacje w porównywanych technologiach (zdjęcia proGEO).



NOVA-KOMP (Zawiercie)



STRABAG (Tychy)



HANTSCH (Jarocin)



AR-VAL (Stalowa Wola)

2.3.1 Technologia Nova-Komp

Technologia Nova-Komp jest technologią polskiej firmy AK NOVA z Poznania. Łącznie wybudowano kilkanaście instalacji w Polsce. Pierwszą instalację w Rudnej Wielkiej (Chemeko-System) oddano do użytku w 2012 r. Następnie wybudowano kolejne kompostownie m.in. w Bogatyni, Wąbrzeźnie, Długoszyńcu, Lułkowie, Zawierciu, Hajnówce, Ostrowie Wielkopolskim, Szprotawie. Instalacje Nova-Komp są reaktorami żelbetowymi szerokości do 7,0m, z dachem żelbetowym, drzwiami harmonijkowymi (podwójnie lub potrójnie składanymi). Napowietrzanie jest pozytywne od dołu do góry, w formie kanałów przykrytych płytą żelbetową (odcinki ok. 2,0 m) ze szczelinami. Możliwe są systemy zawracania powietrza z tunelu do tunelu lub elektryczne ogrzewanie powietrza włączanego. Montowane są systemy nawadniania. Biofiltr poziomy, z płuczką lub bez.



Instalacja w Rudnej Wielkiej

Firma AK Nova dostosowuje się do potrzeb klientów. Firma wybudowała instalację w Radzynie Podlaskim (ZZOK Adamki) z napowietrzaniem za pomocą dysz oraz z drzwiami przesuwными. Przed obiektem wybudowano (zintegrowaną z obiektem kompostowni) wiatę, która w przyszłości może zostać zabudowana (hala). Instalację ZZOK Adamki w Radzynie Podlaskim przedstawiono na poniższych zdjęciach (foto proGEO).



Instalacja w Adamkach (Radzyń Podlaski)



System dysz napowietrzających (w trakcie budowy), drzwi przesuwne (Radzyń Podlaski)

Z innych realizacji firmy AK Nova należy wspomnieć o reaktorach żelbetowych z pojedynczym dachem z tworzywa sztucznego. Wykonano realizacje w Balinie (Chrzanów) oraz Katowicach. W pierwszej instalacji wykorzystano nadmuch pozytywny, dzięki czemu instalacja służy również do suszenia paliwa alternatywnego. W drugiej instalacji wykorzystano nadmuch negatywny (od góry do dołu) i inne elementy podobne do rozwiązań

firmy Compost Systems (była to realizacja projektu budowlanego w tej technologii). Zdjęcia obu instalacji przedstawiono poniżej (foto proGEO).



Instalacja w Balinie, suszenie RDF



Instalacja w Balinie

Ostatnim typem technologii stosowanej przez firmę AK Nova jest system w hali z napowietrzaniem negatywnym, z możliwością przetrzucia pryzm przetrzucarką bramową. Instalację w Słajsinie przedstawiono na poniższych zdjęciach (foto proGEO).



Instalacja w Słajsinie

Hala kompostowni w Słajsinie

Do głównych zalet technologii należy zaliczyć:

- projektowanie – technologia – wykonawstwo przez jedną firmę (AK Nova),
- sprawny system serwisowy,

- pozytywne i negatywne napowietrzanie,
- różne systemy obudowy (żelbetu, dachy z tworzywa szt., hale)
- różne systemy drzwi,
- systemy krajowe,
- różne systemy napowietrzania - system kanałowy lub pipetowy (dysze)
- duże doświadczenie na rynku krajowym (łączna wydajność ponad 400.000 Mg na rok).

2.3.2 Technologia Hantsch

Jest to firma francuska zajmująca się technologią kompostowania wraz z systemami wspomagającymi proces (sterowanie, maszyny i urządzenia, wytyczne prowadzenia procesu). W kompostowniach firmy Hantsch prowadzony jest proces dla odpadów zielonych, bioodpadów, osadów ściekowych, pofermentatu, alg oraz frakcji wydzielonej z odpadów komunalnych zmieszanych. Prowadzony może być proces kompostowania, stabilizacji lub suszenia (biosuszenia lub suszenia RDF). Możliwy jest swobodny rozwój technologii od tuneli napowietrzanych, poprzez przykrycie membraną typu GORE, przykrycie dachem do w pełni zamkniętych reaktorów z odciąganiem powietrza procesowego do biofiltra (bez robót straconych).

Firma jest aktywna na rynku krajowym od 2012 r. (oddana do użytku instalacja w Lubawce, Sanikom). Przedstawicielem firmy w Polsce jest firma BLOKOMPO (jedyne dostawca technologii). Kompostownie w technologii Hantsch to reaktory żelbetowe (standardowe szerokości to 6,4m i 9,6m) z podwójnym lub potrójnym dachem z tworzywa sztucznego.

Podwójny dach zapewnia możliwość wykorzystania naturalnie powstającego ciepła procesowego z normalną zawartością tlenu do napowietrzania, przez co szybkość procesu jest większa, zwłaszcza w okresie zimowym. Dodatkowo podwójny dach spełnia kryterium izolacji termicznej oraz doświetla wnętrze tunelu w dzień. Napowietrzanie jest pozytywne (od dołu ku górze), przy wykorzystaniu dysz o odpowiedniej konstrukcji umożliwiające utrzymanie stałego ciśnienia w całym reaktorze bez względu na stopień wypełnienia tunelu. Kanały z uwagi na swoją konstrukcję (odprowadzające równocześnie odcieki) nie wymagają specjalnego czyszczenia.

Sterowanie procesem odbywa się za pomocą sond we wsadzie (na kablu lub z połączeniem radiowym) tlenowych, przez co ograniczone zostaje zużycie energii przy zapewnieniu najlepszych warunków tlenowych w procesie (czas działania wentylatorów jest proporcjonalny do parametru AT_4). Dodatkowo jest zastosowana sonda temperaturowa. Drzwi są przesuwne (bez wydatku energii). Zdjęcia instalacji wraz z elementami technologii zamieszczono poniżej (foto proGEO).



Instalacja w Lubawce



Instalacja w Domaszkowicach k. Nysy



Instalacja w Polanicy Zdr.



Instalacja w Jarocinie (zintegrowanie z halą, wsad pofermentat)

Z zalet technologii Hantsch należy wymienić:

- zastosowanie technologii do wielu rodzajów przetwarzanych odpadów: frakcja podsitowa z odpadów komunalnych zmieszanych, odpady zielone, bioodpady, pofermentat, osady ściekowe,
- pozytywne napowietrzanie,
- system pipetowy (dysze),
- sterowanie tlenem (sondy zwykłe i radiowe),
- podwójny dach (wykorzystanie ciepła procesowego, doświetlenie),
- proste drzwi,
- szerokie tunele (zmniejszenie kosztów operacyjnych załadunku i rozładunku)
- asysta on-line,
- pionowy biofiltr (lub inne, w tym zamknięte),
- 50 lat doświadczenia na rynku kompostowym,
- praktyczne doświadczenie z pofermentatem w Polsce.

2.3.3 Technologia Ar-Val

Francuska firma Ar-Val zajmuje się technologią instalacji mechanicznego sortowania i biologicznego przetwarzania odpadów (proces fermentacji w technologii BAL-Hybrid oraz kompostowanie w technologii Ar-Val).

Typowe rozwiązanie Ar-Val to reaktor żelbetowy z dachem żelbetowym, szerokości 7,0 m. Napowietrzanie za pomocą dysz (system zapewnia równość ciśnienia w każdym miejscu reaktora bez względu na wypełnienie tunelu). Kanały (również odprowadzenie odcieków) nie wymagają specjalnego czyszczenia. Nadmuch pozytywny, od dołu ku górze. Brama hermetyczna, zwykła lub z napędem hydraulicznym, przesuwana (wszystkie elementy na zewnątrz tunelu). Sterowanie za pomocą sondy temperaturowej tlenowej z kontrolą wilgotności (także w powietrzu odlotowym). Możliwość zawracania powietrza poprocesowego (ciepłe ale z mniejszą zawartością tlenu) z tunelu do tunelu na początku procesu. Powietrze poprocesowe odprowadzane do biofiltra poziomego z lub bez płuczki. W reaktorze system nawadniania. Sondy przewodowe lub bezprzewodowe. Bardzo dobry program rejestrujący dane (wizualizacja, archiwizacja).

Podstawowe elementy technologiczne przedstawiono na poniższych zdjęciach (foto proGEO).



Instalacja w Stalowe Woli



Instalacja w Brametot, Francja

Z najważniejszych zalet technologii należy wymienić:

- doświadczenie w kompostowaniu (stabilizacji) pofermentatu w Polsce i Francji (kilka instalacji we Francji i Niemczech),
- pozytywne napowietrzanie,
- system pipetowy (dysze),
- system eliminacji wpływów odcieków przez drzwi,
- sondy zwykłe i radiowe,
- hermetyczne drzwi (bramy zwykłe i podnoszone hydraulicznie),
- system odbioru odcieków,
- dobre oprogramowanie komputerowe.

2.3.4 Technologia Strabag

Firma Strabag jest wielobranżowa firmą budowlano – technologiczną. W swojej ofercie dysponuje szeroką gamą technologii do biologicznego przetwarzania odpadów. Strabag jest dostawcą technologii do tlenowej (kompostowanie), jak i beztlenowej (fermentacja) stabilizacji odpadów. Pełną instalację posiadającą część tlenową i beztlenową firma Strabag wybudowała w Tychach (2014 r., realizacja Strabag), stąd doświadczenie w przetwarzaniu pofermentatu. Reaktory są żelbetowe z dachem żelbetowym. Napowietrzanie w systemie płytowym (otwory w posadzce, poniżej komora rozprężna). Drzwi hermetyczne, przesuwne, otwieranie na zewnątrz bez wydatku energii. Sterowanie sondą temperaturową. Wewnątrz system nawadniania tuneli. Oczyszczanie powietrza na biofiltrach poziomych oraz płuczkach. Do drugiego stopnia stabilizacji (m.in. w Tychach) można zastosować boksy z zasysaniem powietrza (napowietrzanie negatywne). Strabag posiada również technologię z wykorzystaniem membran półprzepuszczalnych.



Instalacja w Tychach, Instalacja w Piotrowie Perwszym (foto Strabag)

Z najważniejszych zalet technologii należy wymienić:

- kilkadziesiąt instalacji w całej Europie (świecie),
- szerokie zastosowanie,
- znajomość bezpośrednia procesów fermentacji (stabilizacji beztlenowej),
- pozytywne napowietrzanie (opcja negatywne),
- hermetyczne drzwi,
- 40 lat doświadczenia,
- oprócz dostaw technologii firma może odpowiadać za projektowanie i kompleksową budowę instalacji,
- praktyczne doświadczenie z pofermentatem w Polsce.

2.3.5 Inne technologie (Entsorga, Eggersmann)

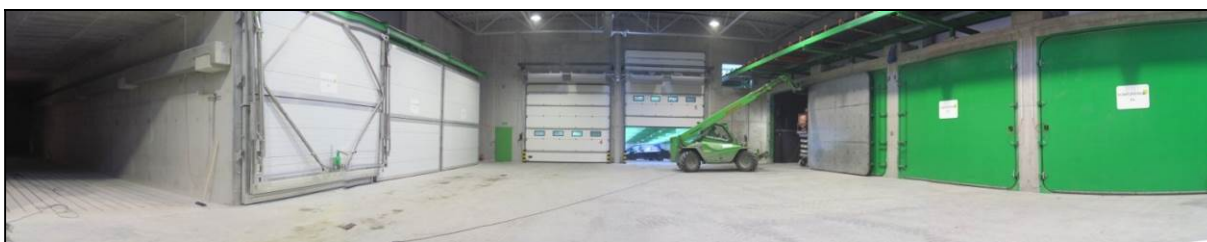
Opisane w poprzednich rozdziałach technologie nie wyczerpują dostępnych, dobrych technologii dostępnych na rynku. Doświadczenie krajowe z prowadzeniem procesu oraz z napowietrzaniem pozytywnym mają również technologie: włoska **Entsorga** (Biała Podlaska oraz stabilizacja tlenowa w Inowrocławiu i Siedlcach) oraz niemiecki **Eggersmann** (Poznań, bioodpady z selektywnej zbiórki oraz stabilizacja tlenowa w Grudziądzu i Marszowie). Obie technologie cechują się żelbetową konstrukcją reaktorów z dachem żelbetowym, napowietrzaniem pozytywnym (dysze) oraz dobrą jakością wykonania, sterowania. Poniżej zdjęcia ww. opisanych technologii (foto proGEO).



Instalacja Entsorga w Białej Podlaskiej



Instalacja Entsorga w Inowrocławiu



Instalacja Eggersmann w Poznaniu (z lewej kompostownia, z prawej komory fermentacji suchej, okresowej)



Instalacja Eggersmann w Poznaniu (bramy, reaktor z automatycznym załadunkiem wsadu)



Instalacja Eggersmann w Grudziądzu

2.4 Podsumowanie i wytyczne

Na wybór technologii stabilizacji tlenowej ma wpływ szereg aspektów prawnych i technologicznych. Rozpatrując wybór technologii należy określić ramy czasowe eksploatacji instalacji (co najmniej 15 lat) i porównać nakłady inwestycyjne wraz z nakładami odtworzeniowymi. Podstawowym aspektem wyboru technologii powinna być analiza obejmująca skuteczność prowadzenia procesu, elastyczność procesu (zarówno w aspekcie ilościowym jak i jakościowym wsadu związanym ze wzrostem selektywnej zbiórki i przewidywanymi zmianami przetwarzanych strumieni odpadów). Ważnym elementem przed podjęciem decyzji jest dokonanie wizji lokalnej wybranych instalacji oraz referencje potwierdzone przez użytkowników.

W postępowaniu przetargowym należy określić cele i dane wejściowe dla instalacji, podstawowe warunki wymagane od dostawcy technologii i jego doświadczenia. Częstym zjawiskiem w kraju jest bardzo szerokie określenie wymagań dla generalnego wykonawcy

robót budowlanych, a kryteriami wyboru jest cena oraz dodatkowo np. termin realizacji lub długość gwarancji, co generuje zagrożenie dostawy niesprawdzonych lub nieekonomicznych technologii. Bardzo rzadko spotykane są postępowania przetargowe z kryteriami wyboru dotyczącymi technologii (aspekty techniczne, doświadczenie itp.), które to mają kluczowe znaczenie przy budowie instalacji (i są podstawowym kryterium w krajach europejskich). W poprzednim rozdziale przedstawiono możliwości zapisów technologicznych i określenie parametrów, które mogą być analizowane jako kryteria (w postępowaniu przetargowym, obligatoryjne lub punktowane przy wyborze dostawcy technologii).

Należy pamiętać, że podstawowym elementem prowadzenia działalności w zakresie przetwarzania odpadów, jest zachowanie konkurencyjności na rynku przy dostosowaniu się do zmieniającej się sytuacji w gospodarce odpadami (aspekty prawne, zmiana strumieni odpadów itp.), co powoduje, że inwestycje w instalacje stabilizacji tlenowej należy rozpatrywać długoterminowo po szczegółowej analizie techniczno-ekonomicznej. Należy zwrócić uwagę na możliwość zastosowania rozwiązań innowacyjnych jak np. wykorzystanie ciepła procesowego, czy powiązanie eksploatacji instalacji z odnawialnymi źródłami energii.

3. CHARAKTERYSTYKA PORÓWNAWCZA FERMENTACJI CIĄGŁEJ I OKRESOWEJ, WYTYCZNE PROCESU I PRZYGOTOWANIE WSADU

3.1 Wytyczne prowadzenia procesu

Zgodnie z BREF BAT (2018 r.) należy w procesie fermentacji beztlenowej wykorzystywać poniższe techniki:

- stosowanie ścisłej integracji procesu z gospodarką wodną,
- zawrócenie maksymalnej ilości ścieków do reaktora,
- obsługa systemu w warunkach fermentacji termofilowej (w przypadku niektórych rodzajów odpadów nie można osiągnąć warunków termofilowych),
- pomiar poziomów CWO, ChZT, N, P i Cl w strumieniach wlotowych i wylotowych (gdy wymagana jest lepsza kontrola procesu, lub lepsza jakość odpadów wyjściowych, niezbędna jest większa liczba parametrów do pomiaru i kontroli),
- maksymalizacja produkcji biogazu (technika ta musi uwzględnić wpływ na jakość odpadu przefermentowanego i biogazu).

W niniejszym opracowaniu założono, że planowane przedsięwzięcie nie wymaga uzyskania pozwolenia zintegrowanego, co znosi prawny obowiązek przestrzegania wymagań BAT. Jednakże, najlepsze dostępne techniki stanowią zbiór dobrych praktyk, którymi warto kierować się podczas planowania inwestycji.

3.2 Przygotowanie wsadu

Produktywność biogazu zależy od zawartości suchej masy organicznej w odpadach. Ostatnio prowadzone w kraju badania wykazały produkcję biogazu (test VDI 4630) 390-410 Nm³/Mg s.m.o. Przyjmując zawartość suchej masy we wsadzie do procesu na poziomie 50% i zawartość organiki w suchej masie na poziomie 80% otrzymamy, wartość ok. 160 Nm³/Mg wsadu. Potwierdzają to badania rzeczywiste z rozruchu instalacji krajowych pracujących na frakcji biodegradowalnej wydzielonej ze strumienia zmieszanych odpadów komunalnych [wg badań proGEO].

Oczywiście im więcej s.m.o. tym wyższa produktywność biogazowa i należy dążyć do jak najlepszego przygotowania wsadu do procesu (np. przy zawartości organiki na poziomie 70% można oczekiwać produkcji biogazu na poziomie blisko 130 Nm³/Mg, a dla bioodpadów przy założeniu 50% s.m. i zawartości organiki na poziomie 80% - 160 Nm³/Mg).

Zależnie od wybranego rodzaju procesu fermentacji (ciągłej lub okresowej) istotny wpływ na produkcję biogazu ma sposób przygotowania odpadów do procesu.

W przypadku fermentacji ciągłej, odpowiednie przygotowanie wsadu ma znaczący wpływ na bezawaryjny i efektywny proces. Celem przygotowania materiału jest zwiększenie potencjału energetycznego poprzez usunięcie ze strumienia elementów niepożądanych (m.in. tworzyw sztucznych, metali, elementów o większych wymiarach). Węzeł przygotowania odpadów przed procesem fermentacji ciągłej powinien umożliwić mechaniczne przygotowanie wsadu oraz ciągłe dozowanie materiału do komory fermentacyjnej. Fermentacja ciągła jest technologią wrażliwą na zanieczyszczenia frakcją ciężką (m.in. odpady z metali) a także na frakcję organiczną o większych gabarytach –

istnieje prawdopodobieństwo uszkodzenia maszyn i urządzeń ze względu na zautomatyzowaną linię podawania i odbierania odpadów. Przygotowanie wsadu do procesu wymaga zazwyczaj wykorzystania rozrywarki worków, sita, separatorów metali żelaznych czy rozdrabniacze. Ważnym aspektem w fermentacji ciągłej są bufory magazynowe, które powinny umożliwić automatyczne dozowanie materiału przez minimum 72h (okresy weekendowe i świąteczne).

W przypadku fermentacji okresowej (perkolacyjnej), węzeł przygotowania odpadów przed procesem nie posiada tak istotnego wpływu na proces, w porównaniu do fermentacji ciągłej. Odpady wprowadzane są do komory fermentacyjnej za pomocą ładowarki, zatem nie istnieje zagrożenie uszkodzenia komory frakcją ciężką lub zbyt dużymi wymiarami frakcji organicznej. Nie zachodzi więc konieczność zaawansowanego przygotowywania odpadów przed procesem. Zalecane jest jednak rozdrobnienie odpadów w celu zwiększenia produkcji biogazu oraz otworzenie worków z odpadami w przypadku zbiórki workowej. Do przygotowania odpadów wykorzystywane są najczęściej rozrywarki worków lub rozdrabniacze jednowałowe.

Ze względu na lepszy uzysk gazu i skuteczniejsze prowadzenie procesu zalecane jest rozdrobnienie materiału do 50mm. Same gałęzie nie stanowią dobrego, pod kątem produkcji biogazu, wsadu. Po rozdrobnieniu jednak nadają mieszance pożądaną strukturę. Właściwy materiał podlegający rozkładowi w fermenterze to odpady kuchenne, trawa i odpady ogrodowe (z wyłączeniem gałęzi jak na wstępie).

Rysunek 3.1. Przykład instalacji załadunku wsadu do fermentacji ciągłej (chwytnak), fot. proGEO



**Rysunek 3.2. Rozrywarka worków dla frakcji biodegradowalnej (z lewej),
Separator metali żelaznych (z prawej) fot. proGEO**



Rysunek 3.3. Rozdrabniacz wolnoobrotowy (z lewej), sito gwiaździste – wolnostojące (z prawej)
fot. proGEO



3.3 Odstawa frakcji pofermentatu

W technologii ciągłej, odstawa pofermentatu odbywa się automatycznie. Problemy, mogą występować w przypadku braku odpowiedniego przygotowania wsadu do procesu (m.in. zbyt dużo szkła i innych odpadów inertych). Do procesu nie powinien być kierowany strumień zawierający ponad 10% zanieczyszczeń (inertów). Kwestia ta dotyczy jednak w większości odpadów frakcji biodegradowalnej wyodrębnionych ze strumienia odpadów zmieszanych. Dla odpadów biodegradowalnych selektywnie zbieranych nie stwierdzono takich problemów.

W przypadku technologii okresowej (perkolacyjnej), pofermentat jest wyładowywany za pomocą ładowarki kołowej. Istotne jest jednak dokładne monitorowanie zawartości gazów z komorze przed wyładunkiem – zalecane jest badanie za pomocą czujników będących integralną częścią komory fermentacyjnej oraz ręcznie, za pomocą przenośnych urządzeń. Podwójna kontrola umożliwi uniknięcie niebezpiecznych sytuacji podczas otwierania komór.

Najwięcej dyskusji w ostatnim czasie dotyczy systemów odwadniania pofermentatu. Węzeł odwadniania stanowi istotny element kosztotwórczy procesu.

3.4 Odwadnianie pofermentatu

W przypadku technologii ciągłej, odwadnianie pofermentatu ma bardzo duże znaczenie – istotne jest oddzielenie frakcji stałej od frakcji ciekłej.

Standardowo przyjmowane jest dwustopniowe odwodnienie na prasie i wirówce. Coraz częściej stosowane są też inne systemy – m.in. dekantatory, cyklony czy stoły wibracyjne. Istotną procesy jest minimalizacja odcieków z procesu przetwarzania odpadów i możliwość skierowania pofermentatu o wysokiej zawartości wilgotności do procesu tlenowego w celu obniżenia kosztów eksploatacji. Przed skierowaniem przefermentowanych odpadów do procesu stabilizacji tlenowej należy pamiętać o mieszczaniu poszczególnych strumieni ze sobą (np. za pomocą mieszalnika).

Kolejną metodą jest wykorzystanie suszarni taśmowej. Rozwiązanie to jest szeroko stosowane na oczyszczalniach ścieków do zmniejszenia uwodnienia osadów ściekowych, które składem i konsystencją są zbliżone do pofermentatu. Można zatem powiedzieć, że jest

to rozwiązanie dobrze sprawdzone dla tego typu odpadu lecz rzadko stosowane. Wynika to z faktu energochłonności procesu. Zwyczajowo w sytuacji gdy biogaz jest spalany na agregatach kogeneracyjnych, można przyjąć w pewnym uproszczeniu, że uzyskania w ten sposób energia cieplna wystarczy na pokrycie jedynie połowy zapotrzebowania suszarni. W przypadku gdy biogaz zamierza się kondycjonować do gazu CNG (napęd samochodów lub dystrybucja do sieci gazowej), energię cieplną dla suszarni należy pokryć w 100%. Jest to więc rozwiązanie ekonomicznie nieuzasadnione w przypadku gdy nie dysponuje się nadwyżką mocy rzędu kilku – kilkunastu tysięcy MWh.

W technologii okresowej (perkolacyjnej) odciek powstający podczas procesu fermentacji jest odprowadzany za pomocą systemu kanalizacyjnego znajdującego się w posadzce komory fermentacyjnej. Pofermentat posiada wysoką wilgotność, a najczęściej stosowanym sposobem jego odwodnienia jest mieszanie pofermentatu z materiałem strukturalnym. Materiał miesza się ze strukturą w proporcji masowej 1:0,8-1,0 co przy ok. 3-krotnie niższej gęstości strukturantu oznacza 4-krotny wzrost objętości pryzm, na placu a tym samym zwiększa koszty budowy placu i koszty operacyjne. Dodatkowym problemem eksploatacyjnym jest również mieszanie materiału po fermenterze ze strukturą. Może się to odbywać za pomocą: ładowarki kołowej, w małym buforze/mieszalniku o objętości ok. 20m³, w mikserze mobilnym lub mieszalniku ciągłym. Zarówno bufor jak i mikser niezależnie czy są stacjonarne czy mobilne powinny być wyposażone w wagę w celu poprawnego doboru proporcji pofermentu z materiałem strukturalnym.

W przypadku fermentacji perkolacyjnej, poferment transportowany jest z komór fermentacyjnych za pomocą ładowarki kołowej. Następnie mieszany jest ze strukturą za pomocą mieszalników, łyżek mieszających lub za pomocą ładowarki. Wymieszany poferment ze strukturą prowadzony jest do stabilizacji tlenowej – tuneli kompostowych lub na plac kompostowy.

W trakcie mieszania następuje zatrzymanie procesu beztlenowego, a poprzez napowietrzenie zainicjowanie procesu tlenowego. W trakcie tej operacji z pofermentu uwalniane są resztki gazów procesowych – metanu, amoniaku, siarkowodoru. Zanieczyszczone powietrze skierowane powinno być do instalacji oczyszczania, bądź do kompostowni jako powietrze procesowe. Tak więc zalecane jest, aby odbywało się w hali, wiatce z zamknięciem i ujęciem powietrza poprocesowego w celu hermetyzacji procesu i ograniczania uciążliwości odorowych zgodnie z BAT.

W procesie fermentacji garażowej (okresowej) powstające wody odciekowe (perkolat) są istotnym elementem instalacji. Służą do zaszczepienia odpadów odpowiednimi kulturami bakterii w celu zainicjowania procesu. Pomimo możliwości wytworzenia z perkolatu nawozu płynnego o właściwościach handlowych, ilość powstających odcieków które stanowią nadwyżkę jest niewielka. Dodatkowo, należałoby zweryfikować możliwość zbytu oraz wyposażyć instalację w infrastrukturę umożliwiającą magazynowanie nawozu płynnego w okresie zimowym.

Rysunek 3.4 Przykład modułu odwadniania pofermentatu, (fot. proGEO) oraz suszarnia taśmowa, (materiały reklamowe Firmy Stela)



3.5 Zagospodarowanie biogazu

Uzyskany w procesie fermentacji biogaz niezależnie czy trafi na agregaty kogeneracyjne czy też zostanie kondycjonowany do gazu CNG należy w pierwszej kolejności odsiarzyć na kolumnie odsiarczającej działającej na zasadzie złoża biologicznego. Jest to najefektywniejsze rozwiązanie pozwalające na redukcję zanieczyszczenia poniżej 200ppm H_2S . Stężenie wyjściowe siarkowodoru w biogazie rzadko kiedy powinno przekraczać wartość 2000 ppm H_2S . Dla biogazu ze zmieszanych odpadów komunalnych wartości te oscylują w przedziale 2000-3000 ppm H_2S i więcej w zależności od stopnia zanieczyszczenia, głównie frakcją popiołową. W przypadku frakcji selektywnie zebranych odpadów ulegających biodegradacji, zanieczyszczenie siarkowodorem w biogazie jest nieco niższe i dalej wymaga obniżenia.

Ważnym elementem jest zapewnienie możliwości dodawania do procesu reagentów zmniejszających w biogazie zawartość siarkowodoru. W przypadku odpadów biodegradowalnych selektywnie zbieranych problem z siarkowodorem może występować sporadycznie lub wcale. Niemniej jednak zaleca się przewidzieć taką możliwość w sytuacjach awaryjnych. Rozwiązanie uzupełniające do opisanej powyżej kolumny biologicznej. Pośród metod odsiarczania biogazu dostępne są na rynku metody opierające się na reagentach działających bezpośrednio w komorach fermentacyjnych. Rozwiązanie takie polega na wprowadzeniu do komór fermentacyjnych środków chemicznych, które neutralizują siarkowodor już w źródle jego powstawania (w komorze fermentacyjnej). Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość uniknięcia instalacji dodatkowych urządzeń do odsiarczania biogazu poza komorami fermentacyjnymi, a przez to wpływa na zmniejszenie nakładów inwestycyjnych. Spośród dostępnych reagentów odsiarczania in situ można wyróżnić preparaty oparte na chlorku żelaza FeCl_3 lub FeCl_2 (stosowane zwykle jako wodny roztwór) oraz preparaty oparte na wodorotlenku żelaza (zwykle użytkowane jako proszek lub granulaty, np. FerroSorp®). Dla zapewnienia ciągłości pracy należy stosować zbiorniki buforowe (stacje załadunkowe).

Rysunek 3.5 Instalacje dozujące wodorotlenek żelaza i chlorek żelaza, fot. proGEO



Jako II stopień oczyszczania stosowana jest zabudowa z filtra węglowego 2-3 komorowego w obudowie z tworzywa sztucznego. Sekcyjność pozwala na wymianę złoża bez przerywania pracy instalacji. Wypełnienie filtra stanowi węgiel aktywny którego głównym zadaniem będzie redukcja związków siarkowodoru. Ewentualną trzecią sekcję można wypełnić węglem aktywnym do redukcji siloksanów. Siloksany – związki krzemu – wpływają negatywnie na pracę jednostek kogeneracyjnych, tworzą osad i doprowadzają do zatarcia silników. W większości przypadków problem z ich występowaniem dotyczy frakcji biodegradowalnych pochodzących z odpadów komunalnych i związana jest z odpadami z przemysłu kosmetycznego. Dlatego wypełnienie trzeciej sekcji (jego konieczność) należy stwierdzić podczas pracy instalacji, w warunkach rzeczywistych. Warto jednak przewidzieć i umożliwić taką możliwość. Rozwiązanie z węglem aktywnym należy traktować jako uzupełniające w przypadku dalszego wykorzystania biogazu w agregatach kogeneracyjnych CHP, natomiast w przypadku kondycjonowania biogazu do gazu CNG będzie to rozwiązanie niezbędne (wymagane). W przypadku odpadów selektywnie zebranych ulegających biodegradacji oczyszczanie dwustopniowe najczęściej nie jest wymagane.

3.6 Spalanie biogazu w jednostce kogeneracyjnej (CHP)

Odsiarczony biogaz należy osuszyć, oczyścić, schłodzić i zmagazynować w zbiorniku sferycznym – magazynie biogazu oczyszczonego. Następnie z magazynu gaz może być kierowany na agregaty kogeneracyjne. Zarówno po kolumnie odsiarczającej (wynika to z konieczności ciągłego zasilania złoża biologicznego materiałem pokarmowym - biogazem) jak i po zbiorniku biogazu w celach awaryjnych i serwisowych należy umożliwić skierowanie biogazu na pochodnię celem awaryjnego spalania.

Zbiornik biogazu pozwala uśrednić gaz (w zależności od wsadu, pory dnia etc. uzyskany biogaz może mieć zmienną kaloryczność). Dodatkowo zbiornik pozwala wyrównać ciśnienie z jakim jest podawany gaz co korzystanie wpływa na pracę agregatów.

W technologii fermentacji perkolacyjnej, istnieje możliwość zlokalizowania zbiorników biogazu na dachach komór fermentacyjnych oraz na dachu zbiornika perkolatu (zależnie od wybranej technologii). Rozwiązanie to, pozwala zredukować niezbędną powierzchnię zabudowy.



3.7 Wykorzystanie biogazu do napędu pojazdów (CNG)

W przypadku potrzeby wykorzystania biogazu jako paliwa do napędu pojazdów czy jako substytutu gazu ziemnego występuje konieczność poprawy jego jakości i parametrów energetycznych. Częstym problemem użytkowników jest zbyt mała zawartość metanu w biogazie oraz zbyt wysokie zawartości dwutlenku węgla, a także zanieczyszczeń takich jak siarkowodór. Oczyszczenie z zanieczyszczeń chemicznych: CO_2 , H_2S , siloksanów (przy odpadach selektywnie zbieranych biodegradowalnych rzadko spotykane) powinno następować analogicznie jak w przypadku oczyszczania biogazu na cele spalania w agregatach kogeneracyjnych. Konieczne jest zastosowanie filtra z węgla aktywnego 2-3 sekcyjnego po kolumnie odsiarczającej szczególnie przed instalacją wzbogacania biogazu. Stosowane rozwiązania zapewnić mają ciągłą pracę instalacji wzbogacania. Biogaz o podwyższonych parametrach (oczyszczony) stanowiący już CNG jest przetwarzany gazociągiem niskiego ciśnienia do zbiornika ciśnieniowego w miejscu lokalizacji stacji dystrybucji paliwa CNG.

Rysunek 3.6 Stacja dystrybucji CNG w zabudowie kontenerowej - wyciszona.
[materiały reklamowe Firmy „asf”]



Poprawa jakości biogazu polega na zwiększeniu wartości opałowej (poprzez wychwycenie dwutlenku węgla czyli wzbogacenie wysokoenergetycznego metanu) oraz oczyszczenie z zanieczyszczeń (siarkowodór, para wodna). W ostatnich latach nastąpił rozwój technologii

oczyszczania gazu. W wielu krajach (np. Niemcy, Szwecja, Szwajcaria) podczyszczanie biogazu stosuje się w celu produkcji paliwa do pojazdów. Z najbardziej zaawansowanych, ale efektywnych ekonomicznie, metod należy zwrócić uwagę na: metodę membranową, odwróconej desorpcji oraz opartą na płuczce aminowej [Krzyśków, 2015].

Waloryzacja biogazu na płuczce aminowej w dużym uproszczeniu polega na jego osuszeniu (poprzez schłodzenie biogazu nasyconego parą wodną) a następnie prawie całkowite oddzielenie przez selektywnie działający roztwór płuczki dwutlenku-węgla (CO_2). Roztwór płuczki wiąże chemicznie CO_2 , ale nie metan z surowego biogazu. W wyniku tego wzrasta stężenie metanu w biogazie opuszczającym kolumnę płuczkową jako biometan. Surowy biogaz dodawany jest u podstawy kolumny płuczkowej i przepływa przez tę kolumnę od dołu ku górze. Ciecz płuczka jest przenoszona przeciwwprądowo od góry w dół przez kolumnę płuczkową.

Biometan, z którego wyeliminowano CO_2 i H_2S , zbiera się w szczycie kolumny płuczającej. Jego temperatura jest taka sama jak temperatura roztworu płuczającego wprowadzanego do kolumny. Biometan jest nasycony parą wodną.

Do płuczki musi być dostarczana w pełni zdemineralizowana woda ze stacji uzdatniania, uzupełniana w zależności od poziomu cieczy mierzonego w studzience kolumny płuczkowej.

Rysunek 3.7 Waloryzacja biogazu na płuczce aminowej i desorpcji, fot. proGEO



Waloryzacja biogazu metodą membranową analogicznie jak w przypadku płuczki aminowej w pierwszej fazie polega na osuszeniu biogazu (poprzez schłodzenie biogazu nasyconego parą wodną), a następnie prawie całkowite oddzielenie przez membrany dwutlenku-węgla (CO_2) i innych zanieczyszczeń chemicznych. Zasada działania urządzenia polega na „przepuszczaniu” pod wysokim ciśnieniem surowego biogazu przez wąskie i długie kanaliki (membrany). Na skutek różnic gęstości różnych gazów następuje ich rozdział w membranach. Następnie następuje zamknięcie zaworów (odcinków membran-rurek) z poszczególnymi gazami i w ten sposób separacja wzbogaconego metanu.

Metoda skuteczna i prosta w zasadzie działania, wymaga jednak zastosowania wysokiego ciśnienia poprzez sprężarki. Ze względu na koszt energetyczny sprężarek, zalecana przy mniejszych wydajnościach. Dlatego też w niniejszej koncepcji w dalszych rozważaniach przyjęto wzbogacanie biogazu oparte na metodzie płuczki aminowej.

Rysunek 3.8 Waloryzacja biogazu metodą membranową, fot. proGEO



4. CHARAKTERYSTYKA PORÓWNAWCZA FERMENTACJI CIĄGŁEJ I OKRESOWEJ

4.1 Przykłady technologii fermentacji ciągłej i okresowej

4.1.1 Przykłady technologii suchej fermentacji ciągłej

W technologiach tych stosowane są pionowe lub poziome komory fermentacyjne, a zawartość suchej masy wynosi 15-40%. Proces może być zastosowany dla bioodpadów z gospodarstw domowych, przemysłu, handlu i rolnictwa oraz frakcji organicznej ze zmieszanych odpadów komunalnych. Pierwsze testowe zakłady w tej technologii wybudowano w 1984 r. Związane były z fermenterami pionowymi (OWS Dranco w Gandawie w Belgii i Valorga w La Buisse we Francji). Pierwsze fermentery poziome wybudowano w 1991 r. w Szwajcarii (Kompogas / BRV, Ruemlang). Następnie wydzielili się technologie BRV, potem Linde (dziś Strabag) oraz Kompogas (Buehler, Schmid, AXPO, właścicielem technologii od grudnia 2014 r. Hitachi Zosen INOVA – HZI, w Polsce dostawcą technologii jest VINCI Environnement). Wydzieliły się także inne technologie oparte na wcześniejszych badaniach – Eisenmann oraz Thöni. Poniżej opisano skrótowo informacje o poszczególnych technologiach.

Technologia KOMPOGAS (Hitachi Zosen INOVA) jest szeroko wykorzystywaną technologią fermentacji w Europie, a także zyskuje popularność poza granicami Europy. Obecnie wybudowano ponad 80 instalacji opartych na tej technologii. Charakterystyczne jest mieszadło podłużne, zapewniające przepływ tłokowy materiału wewnątrz komory, „U”-kształtne dno komory ograniczające sedymentację wewnątrz, żelbetowa konstrukcja z przykryciem gazoszczelnym stalowym oraz opatentowany system ogrzewania (lance) wewnątrz komory. Technologia sprawdza się zarówno dla bioodpadów, odpadów spożywczych, gastronomicznych, zielonych, ale także dla frakcji drobnej wydzielonej z odpadów komunalnych zmieszanych. Przykładowe instalacje dla selektywnie zebranych odpadów biodegradowalnych: Jönköping [2020, SWE], Anröchte [2020, DEU], Foligno [2018, IT], Hogbytorp [2018, SWE], Bologna [2018, IT], San Luis Obispo [2018 USA], Winterthur [2014, SUI], Vetroz [2014 SUI], Zurich [2013, SUI], Fulda [2013, D]. Przykładowe instalacje dla odpadów zmieszanych: Chongqing 1 [2021, CHN], Nanjing [2019, CHN], Epirus [2018, GR], Chongqing [2018, CHN], Amarsul [2014, PT], Vannes [2012, FR], Botarell [2009, ES], Saint Lo [2009, FR], Montpellier [2008, FR], Rostock [2007, D], La Rioja [2005, ES]. W Polsce na licencji Kompogas wybudowała firma VINCI Environnement instalacje w Gaci k. Oławy [2014] i Jarocinie [2015]. Instalacje na odpady zmieszane wybudowano także poza Europą w Japonii (Hofu i Nantan) oraz bardzo dużą instalację (15 komór fermentacyjnych) w Katarze. W ostatnich latach wybudowano ponad 20 instalacji dedykowanych dla odpadów z selektywnej zbiórki m.in. w Szwajcarii, Niemczech, Holandii, Francji i Włoszech. Zdecydowana większość działa w zakresie termofilowym.

Dystrybutorem technologii Kompogas na terenie Polski jest VINCI Environnement, który działa na podstawie licencji uzyskanej od Hitachi Zosen INOVA.

Rysunek 4.1 Przykłady instalacji w technologii Kompogas



Instalacja w technologii Kompogas w Saint Lo (Francja) i Fulda (Niemcy), fot. proGEO



Instalacja w technologii Kompogas w Rostock (Niemcy) i Klingnau (Szwajcaria), fot. proGEO

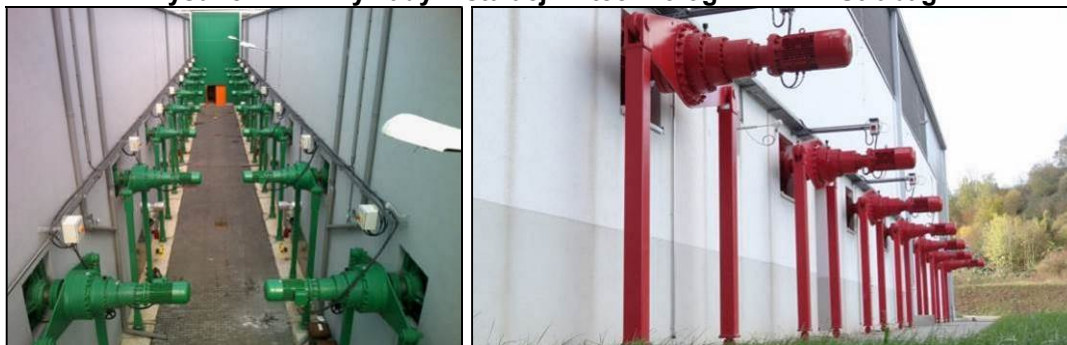


Budowa instalacji w technologii Kompogas, fot. proGEO, s prawej schemat [<http://www.hz-inova.com/>]

Technologia **LARAN firmy STRABAG** jest kolejną bardzo rozpowszechnioną technologią fermentacji suchej, ciągłej, poziomej. W odróżnieniu od poprzedniej technologia wykorzystuje mieszadła poprzeczne (zachodzące, działające na przemian – oś 1, 3... i oś 2, 4...) przez co wielkość pojedynczej komory może być większa (poprzez zastosowanie większej ilości mieszadeł, nawet powyżej 30 000 Mg/rok), przekrój prostokątny, ogrzewanie komory ścienne, całość komory żelbetowa. Część zakładów funkcjonuje w zakresie mezofilowym, część w termofilowym. W technologii suchej LARAN wybudowano ponad 40 instalacji, w tym 10 dla frakcji wydzielonej z odpadów zmieszanych. Przykładowe instalacje dla selektywnie zebranych odpadów biodegradowalnych: Fuzhou [2020, CHN], Bedizzole [2020, IT], Westheim [2019, DEU], Mallorca [2019, ESP], Carboli [2019, IT] Anzio [2019, IT], Liege [2019, BL], Carpi [2018, IT], Tuscania [2015, IT]. Helsinki [2015, FIN], Alphen [2014, NED], Berlin [2013, DEU]. Przykładowe instalacje dla odpadów zmieszanych: Ljubljana [2015, SVN], Xiamen [2013, ChRL], Brześć [2011, BLR], Western Isles [2006, GB], Ravensburg i Qurazbichl [1996, D]. W Polsce oddano do użytku instalacje w Tychach [2014], Stalowej Woli [2015] i w Promniku k. Kielc [2016]. W ostatnich 5 latach wybudowano

kilkanaście instalacji dla odpadów z selektywnej zbiórki w Chinach (Fuzhou), Niemczech (Westheim), Włoszech, Hiszpanii, Francji i Belgii.

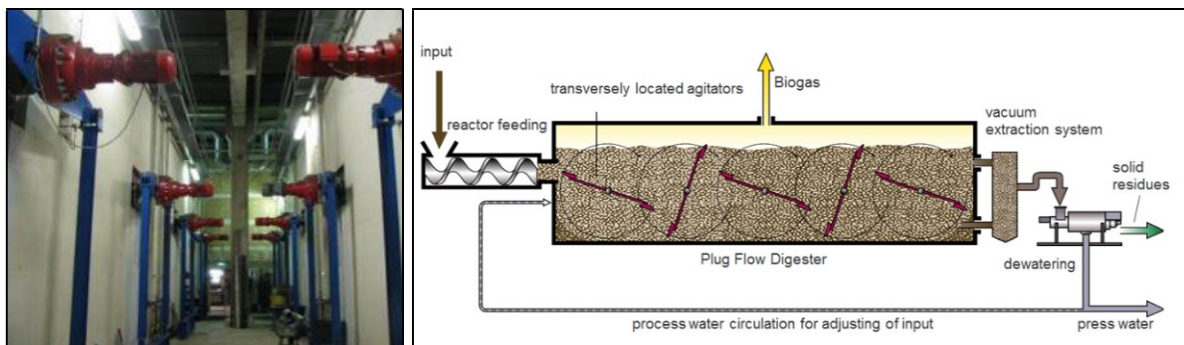
Rysunek 4.2 Przykłady instalacji w technologii LARAN Strabag



Technologia LARAN Strabag: Berlin (Niemcy), Mondercagne (Luksemburg), fot. proGEO



Technologia LARAN Strabag: Brześć (Białoruś), Zittau (Niemcy), Valladolid (Hiszpania), fot. proGEO



Technologia LARAN Strabag: Lemgo (Niemcy), fot. proGEO, Schemat wg <http://www.strabag-umwelttechnik.com>

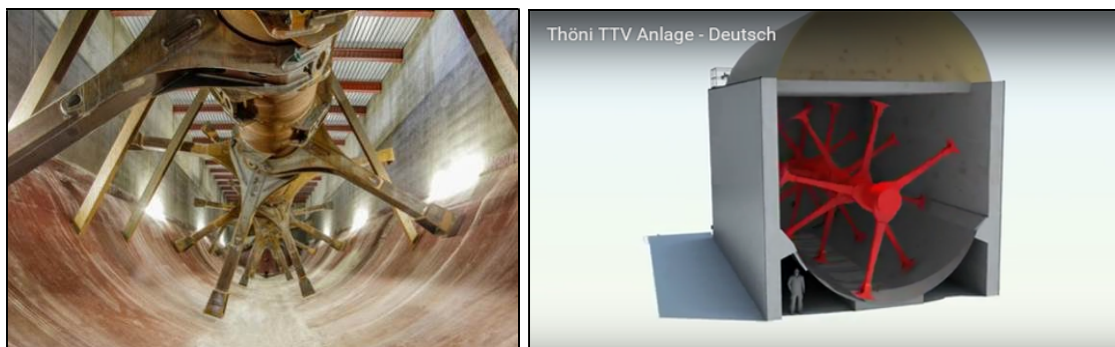
Technologia **TTV firmy Thöni** jest austriacką technologią fermentacji suchej, ciągłej, poziomej. Występuje znaczne podobieństwo do technologii Kompogas (firma Thöni początkowo budowała zakłady w tej technologii). Wykorzystuje mieszadło podłużne, podłoga „U” kształtna metalowa, komora żelbetowa, z dachem z tworzywa stanowiącym zbiornik biogazu, wymiennik ciepła przy podajniku, możliwość napraw poprzez wolną przestrzeń między ścianą a podłogą „U” kształtną. Z referencji należy wymienić: Sinsheim [2019, DEU], Lünen [2019, DEU], Bad Rappenau [2018, DEU], Bohmte-Hunteburg [2019, DEU], Frankfurt [2017, DEU], Forsbacka/Gavle [2017, SWE], Brandholz [2016, DEU] Augsburg [2013, DEU] oraz instalacje wybudowane wspólnie z AXPO Kompogas: Belluno [2011, ITA]. Floersheim-Wicker, Frankfurt [2008, D], Passau/Hellersberg [2004, D]. Proces w zakresie termofilowym.

W maju 2021 roku, oficjalnym przedstawicielem handlowym firmy Thöni Industriebetriebe GmbH w Polsce została spółka T4B Ekotechnologie.

Rysunek 4.3 Przykłady instalacji w technologii TTV- Thöni



Fermentacja w technologii TTV Thoeni [www.thoeni.com], z lewej instalacja w Augsburgu (Niemcy)



Fermentacja w technologii TTV Thoeni [www.thoeni.com]

Technologia **EISENMANN** jest technologią fermentacji suchej, ciągłej, poziomej. Wykorzystuje mieszadło (początkowo dwuczęściowe) wzdłuż żelbetowej komory o przekroju prostokątnym, z ogrzewaniem rurowym na ścianach i dachem z tworzywa stanowiący zbiornik biogazu. W referencjach jest kilkadziesiąt instalacji, ale głównie poza Europą. Z kilku instalacji należy wymienić: Perris [2016, US], Harnosand [2016, SWE], Schwerin [2014, De], Lahti [2014, FIN], Morrum [2012, SWE], Liesberg [2011, CH], Utzenstorf [2010, CH], Cremona [2010, IR], Ancona [2009, IT] czy Ormalingen [2008, CH]. W 2014 r. otwarto pierwszą instalację bazującą na frakcji drobnej z odpadów zmieszanych w Białej Podlaskiej. W 2020 roku firma EISENMANN Environmental Technology została wykupiona przez amerykańską grupę Ogni Group. Obecnie, dystrybucją technologii EISENMANN zajmuje się Zenviro Tech. Do jednych z najnowszych instalacji dla selektywnie zebranych odpadów biodegradowalnych zaliczane są Santhia [2019, IT], oraz Mikkeli [2019, FIN].

Rysunek 4.4 Przykłady instalacji w technologii Eisenmann



Technologia Eisenmann w Utzenstorf i Ormalingen (Szwajcaria) fot. proGEO, schemat wg <http://www.eisenmann.us.com/>

Technologia **METHAVOS** stworzona została przez francuską grupę LINGENHELD pod koniec 2014 roku. Rozwiązanie oparte jest na fermentacji ciągłej, suchej, poziomej, składającej się z komory fermentacyjnej o przepływie tłokowym z pionowymi mieszadłami wielostrefowymi. Proces prowadzony jest w reżimie termofilnym (ok. 55°C) wspomagany poprzez podwójny obieg grzewczy w komorze fermentacyjnej. Zalecana zawartość suchej masy wynosi ok. 26-32%. Technologia umożliwia przetwarzanie selektywnie zebranych odpadów zielonych, bioodpadów oraz odpadów rolno-spożywczych.

W 2019 roku, wybudowano 6 instalacji fermentacji beztlenowej w tej technologii: Montargis [2019, FR], FECAMP [2018, FR], Marboue [FR, 2018], Strasburg [FR, 2018], Sarreguemines [FR, 2016].

Rysunek 4.5. Przykłady instalacji w technologii Methavos



Technologia Methavos w Montargis i Sarreguemines, źródło: <http://www.methavos.fr/fr/references.html>

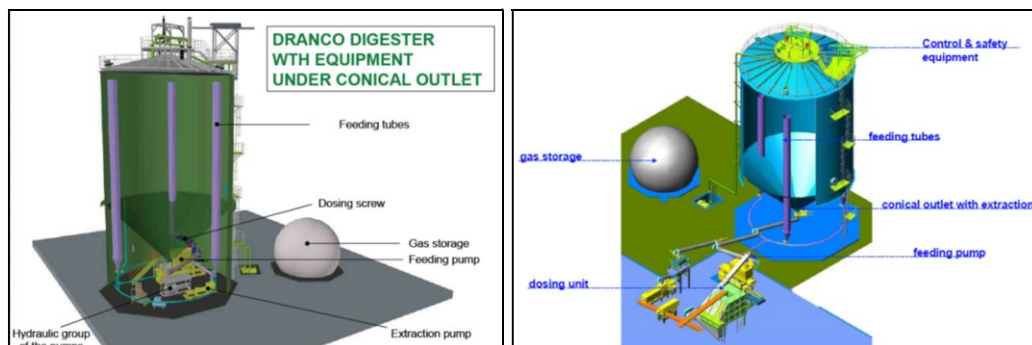
Technologia **DRANCO firmy OWS** jest belgijską technologią fermentacji suchej, ciągłej, pionowej. Jest to izolowana komora cylindryczna, ładowana od góry, z odbiorem stożkowym w dolnej części. Dobrze pracuje nawet przy wysokiej wartości suchej masy (40%). Proces termofilowy lub mezofilowy. W referencjach jest kilkadziesiąt instalacji, na różne materiały wsadowe, w tym frakcje drobną z odpadów komunalnych zmieszanych. Przykładowe instalacje referencyjne na bioodpady: Gipuzkoa [2019, ESP] oraz Beerse [2018, BEL]. Przykładowe instalacje referencyjne na odpady zmieszane: Ayagawa [2018, JAP], North Yorkshire [2017, UK], Burg-en-Bresse [2016, FR], Chagny [2015, FR], Mirandela [2013, PT], Wijster [2012, NL], Leszno [2010, PL], Alicante [2008, ES], Vitoria [2008, ES], Hille [2005, D], Muenster [2005, D], Rzym [2003, ITA], Keiserslautern [1999, D], Salzburg [1993, A], Graz [1990, A], Gandawa 1984, B]. Obecnie, planowane są instalacje w Dendermonde [2022, Belgia – selektywnie zebrane odpady biodegradowalne], Leuven [2022, Belgia – selektywnie zebrane odpady biodegradowalne], Yorii [2021, Japonia – odpady żywnościowe oraz z przetwórstwa papieru] oraz Chongqing [2021, Chiny – odpady żywnościowe].

W 2010 r. otwarto pierwszą instalację w technologii suchej bazującej na frakcji drobnej z odpadów zmieszanych w Trzebani k. Leszna.

Rysunek 4.6 Przykłady instalacji w technologii OWS Dranco



Fermentacja w technologii Dranco OWS w Hille i Kaiserslautern (Niemcy), for. proGEO

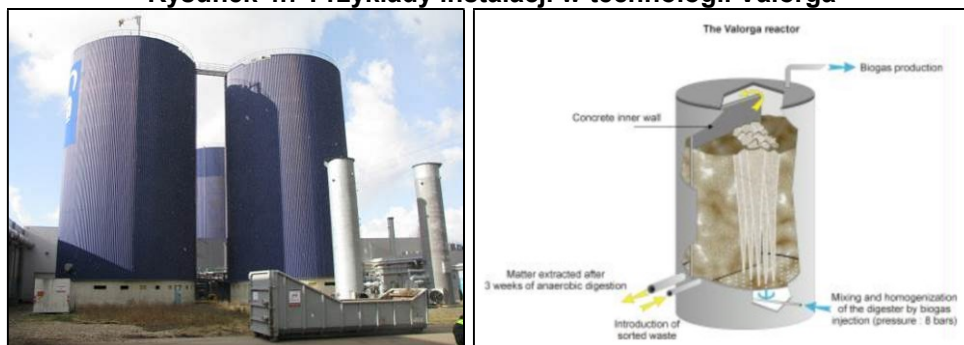


Technologia Dranco OWS – schematy wg http://www.biocyclerefor.com/2012/presents_tuesday/McDonald_s.pdf

Technologia **Valorga** (Urbaser) jest technologią fermentacji suchej, ciągłej, pionowej, z mieszaniem biogazem. Począwszy od lat 80-tych XX wieku, wybudowano szereg instalacji na odpady zmieszane i bioodpady. Z instalacji bazujących na odpadach zmieszanych należy wymienić: Calais [2020, FR], Bayonne [2013, FR], Romainville-Bobigny [2013, FR], Point a Pitre [2011, FR], Abrunheira [2010, PT], Saint Priest La Roche [2010, FR], Tondela [2009, PT], La Paloma [2008, ES], Zaragoza [2008, ES], Las Dehesas [2008, ES], Fos sur Mer [2008, FR], Hanower [2005, D], Leicester [2005, GB], Barcelona [2004, ES], Bassano [2003, ITA], Cadiz [2003, ES], Varennes-Jarcy [2002, FR], La Coruna [2001, ES], Mons [2000, B], Amiens [1988, FR]. łącznie wybudowano ponad 70 komór fermentacyjnych.

Obecnie, dystrybucją technologii Valorga Process zajmuje się spółka Urbaser Environnement.

Rysunek 4.7 Przykłady instalacji w technologii Valorga



Instalacja w technologii VALORGA w Hanowerze (Niemcy), for proGEO, schemat wg www.valorgainternational.fr

4.1.2 Przykłady technologii suchej fermentacji perkolacyjnej

Technologie suchej fermentacji perkolacyjnej, zwane są także okresowymi (*batch technology*) lub garażowymi (box). Proces jest powszechnie stosowany dla wymieszanych odpadów kuchennych i ogrodowych o znacznej zawartości materiału strukturalnego oraz obornika i roślin energetycznych. Bardzo rzadko stosuje się do odpadów zmieszanych (pojedyncze referencje we Portugalii, Włoszech i Francji). W celu inokulacji stosuje się zawracanie perkolatu (nawadnianie) oraz często mieszanie z przefermentowanym produktem. W ostatnim okresie nastąpiło zwiększenie instalacji w technologiach perkolacyjnych. Przed 2010 r. funkcjonowało (Kern M., Raussen T., 2015) 16 instalacji garażowych, w tym 14 w Niemczech na odpadach komunalnych (bioodpadach). Od 2010 oddano do użytku ponad 28 instalacji w wielu krajach europejskich. Z głównych technologii wymienić należy Eggersmann, Bioferm, Herhof, W.T.T., Gicon, Ar-Val, BAL. Większość nowoczesnych zakładów budowanych jest w hali i posiada drugi stopień stabilizacji – tunele intensywnej stabilizacji tlenowej.

Technologia **KOMPOFERM** firmy **Eggersmann**

Referencyjne instalacje (bioodpady): Ahrenshoeft [2014, D, Kompoferm-Mini], Meinz-Essenheim [2013, D], Buetzberg [2012, D], Wuerselen [2012, D], Guetersloh [2012, D], Bad Oeynhausen [2011, D, Smartferm], Aschaffenburg [2011, D], Warngau [2011, D], Marburg [2010, D], Aiterhofn [2008, D], Schweinfurt [2007, D], Nieheim-Oeynhausen [2007, D] oraz instalacja na odpady zmieszane w Alter do Chao Valnor w Portugalii [2012, mezofilowa]. W 2014 oddano do użytku także instalację mokrej fermentacji w Sofii w Bułgarii. W 2016 roku, firma Eggersmann przejęła firmę BEKON Holding AG, co spowodowało połączenie KOMPOFERM oraz BEKON w jedną spółkę – BEKON GmbH.

Rysunek 4.8 Przykłady instalacji w technologii Kompoferm



Technologia Kompoferm (Eggersmann) – Guetersloh (Niemcy), fot. proGEO



Technologia Kompoferm – reaktor, z prawej instalacja Smartferm w Bad Oeynhausen (Niemcy), fot. proGEO

Technologia **BEKON** (Eggersmann)

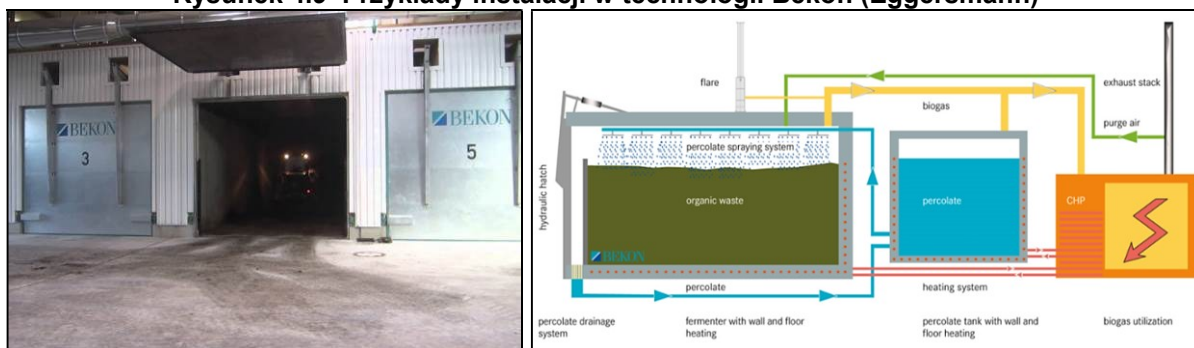
Technologia stosowana głównie na bioodpady i rośliny energetyczne. Z instalacji na bioodpady należy wymienić zakłady referencyjne: Dresden [2017, DEU], Main-Essenheim [2017, DEU], Krauchthal [2017, SE], Galmiz [2015, SE], Ahrenshöft [2014, DEU], Steinfurt [2013, D], Iffezheim [2013, D], Rimini [2012, ITA], Voltana [2012, ITA], Neapol [2011, ITA], Thun [2010, CH], Baar [2009, CH], Cesena [2009, ITA], Bassum [2209, D], Pohlsche Heide [2009, D], Erfurt [2008, D], Vechta [2008, D], Rednsburg [2008, D], Saalfeld [2007, D].

Dla frakcji wydzielonej ze zmieszanych odpadów komunalnych wybudowano instalacji w Jacarei [2017, BR] oraz w Valnor [2011, PRT].

W 2016 roku rozpoczęto eksploatację instalacji w Poznaniu, na selektywnie zebraną frakcję biodegradowalną. Instalacja posiada przepustowość 24 000 Mg/rok.

Technologia posiada system podgrzewanych ścian, które umożliwiają przeprowadzenie procesu termofilowego.

Rysunek 4.9 Przykłady instalacji w technologii Bekon (Eggersmann)



Technologia Bekon, Instalacja w Steinfurcie (www.youtube.com) schemat wg www.bekon.eu

Technologia **Bioferm** grupa Viessmann

Zakłady referencyjne: na odpady zmieszane i bioodpady Edmonton [2016, CA], Sogliano [2013, ITA], na bioodpady: Stausebach [2014, D], Fife [2013, GB], Zwoenitz [2011, DEU], Allendorf [2010, D], Moosdorf [2007, D] oraz dla roślin energetycznych (NawaRo): San Canzian D'Isonzo [2010, ITA], Sumerk [2009, CZE]. Do inokulacji zawracane jest ok. 50% pofermentatu.

Do grupy Viessmann wchodzi również technologia Carbotech, umożliwiającą waloryzację gazu. Do lipca 2021 roku, grupa Viessmann zarządzała także firmą Schmack – mokra fermentacja. Obecnie, firma Schmack stanowi część Hitachi Zosen Inova.

Rysunek 4.10 Przykłady instalacji w technologii BioFerm



Technologia BioFerm (Viessmann Group) – Stausebach (Niemcy), fot. proGEO



Technologia BioFerm (Viessmann Group) – Allendorf (Niemcy), fot. proGEO

Technologia TNS Herhof (dawniej Looock TNS, Helector)

Zakłady referencyjne (biodopady i odpady zielone): Heppenheim [2014, D], Doerpen [2013, D], Uelzen [2001, D], Kassel-Lohfelden [2011, D], Halle-Lochau [2006, D]. Technologia Herhof należy do spółki Helector S.A, której głównym udziałowcem jest Ellaktor S.A.

Rysunek 4.11 Przykłady instalacji w technologii TNS



TNS Herhof/Helector - instalacja w Kassel-Lohfelden <http://www.helector.de/aktuelle-aktivitaeten/aktuelle-projekte/>

Technologia W.T.T.

Zakłady referencyjne: na odpady zmieszane – Castaldo [Braval [2014, PT, rozbudowa 2015], Wiefels [2001, D], Alytus [2015, LTU] i w Lubartowie k. Lublina [2016, PL] oraz dla biodopadów: Giugliano [2016, IT], Blaringhem [2013, FR]. Od 2019 roku, W.T.T jest częścią firmy Convertus.

Rysunek 4.12 Przykłady instalacji w technologii W.T.T



Technologia W.T.T. Lubartów, fot. proGEO



Technologia W.T.T. Wiefels i Venneberg (Niemcy), fot. www.wtt.nl

Technologia **GICON® Process**

Zakłady referencyjne: RABA Erfurt [odpady zmieszane, 2010, D], oraz dla roślin energetycznych (NawaRo) instalacje w Schoellnitz [2007, D] i PSZ Cottbus [2010, D] oraz instalacja na bioodpady w Kanadzie (Richmond, 2013).

Rysunek 4.13 Przykłady instalacji w technologii Gicon



Przykłady instalacji w technologii GICON, fot. www.gaet.gicon.com i <http://www.gicon-engineering.com/>

4.2 Praktyczne zastosowanie poszczególnych technologii fermentacji

4.2.1 Przegląd technologii w Europie i Polsce

W Europie, w 2015 roku, funkcjonowało ponad 240 instalacji fermentacji metanowej (beztlenowej stabilizacji) do przetwarzania bioodpadów i zmieszanych odpadów komunalnych, o łącznej przepustowości ok. 8 mln Mg/a. Najwięcej instalacji zlokalizowanych jest w Niemczech (ok. 2,0 mln. Mg/a), Hiszpanii (ok. 1,6 mln. Mg/a), Francji (ok. 1,2 mln. Mg/a), Holandii (ok. 0,8 mln. Mg/a) oraz Włoszech (ok. 0,6 mln. Mg/a) [Baere L., Mattheeuws B, 2015]. W przeliczeniu przepustowości na liczbę mieszkańców największy wskaźnik posiada Malta, Luksemburg, Holandia i Szwajcaria (powyżej 50 tys. Mg/a na 1 mln Mk). Średnie wydajności instalacji w Hiszpanii, Francji, Holandii są najwyższe (ponad 50 tys. Mg/a), natomiast w Szwajcarii, Austrii, Szwecji, Luksemburgu najmniejsze (10-15 tys. Mg/a).

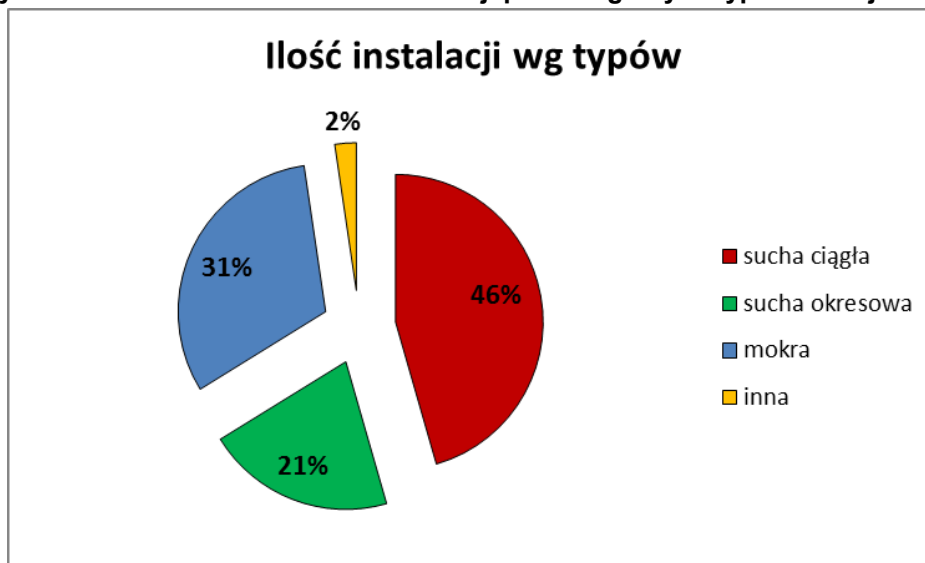
W publikacji Biogas-Atlas 2014/15 podsumowano 113 instalacje w Niemczech i 102 w Europie, bazujących na bioodpadach komunalnych (w tym: kuchennych, zielonych, restauracyjnych, odpadów z przetwórstwa itp.). W Niemczech technologie fermentacji mokrej mają ok. 40% rynku i bazują głównie na odpadach z przemysłu, a technologie fermentacji suchej ciągłej i suchej perkolacyjnej mają po ok. 30% udziału w rynku i bazują

głównie na odpadach kuchennych. Ilość instalacji w ostatnich 10 latach podwoiła się i w dalszym ciągu przewidywany jest rozwój zakładów bazujących na fermentacji. Najwięcej instalacji bazuje na technologii suchej ciągłej Kompogas (20 instalacji) oraz suchych perkolacyjnych Eggersmann (10 instalacji) i Bekon (obecnie również należący do Eggersmann, 9 instalacji). W dalszej kolejności stosowane są technologie Strabag (6), Herhof/Helector (5) i Bioferm (4). Łącznie w Atlasie opisano ok. 40 różnych technologii mokrej fermentacji. 37% wszystkich instalacji w Niemczech bazuje na technologii termofilowej. W krajach europejskich najwięcej instalacji bazuje na technologii Kompogas (49 instalacji, głównie w Szwajcarii i Francji), Strabag (16 instalacji, w tym 11 w technologii suchej) oraz OWS Dranco (7 instalacji). Z innych technologii wymienić należy technologie mokre i suche perkolacyjne Wackerbauer, Fitec, BTA, UTS, Schmack, Gicon, Eggersmann. Generalnie w opisanych instalacjach w Europie (poza Niemcami) odnotowano 67 instalacji w technologii suchej ciągłej, 24 mokrej i 11 suchej perkolacyjnej (65% instalacji termofilowych).

Na podstawie Biogas-Atlas 2014/15 należy stwierdzić, że średnia produkcja biogazu w instalacjach w Niemczech (113 instalacji) waha się między $80\text{-}120\text{Nm}^3/\text{Mg}$ wsadu. Produkcja biogazu zależna jest od rodzaju technologii oraz przetwarzanych odpadów wsadowych. Najlepsze efekty (nawet powyżej $120\text{Nm}^3/\text{Mg}$ wsadu obserwuje się dla technologii suchych ciągłych dla różnych odpadów (Kompogas, Strabag, OWS, Valorga, Thöni) oraz przy fermentacji odpadów takich jak odpady z gastronomii, przetwórstwa itp. dla różnych technologii (w tym fermentacji mokrej). Blisko 70% instalacji (z 19) w technologii Kompogas notuje produkcję biogazu na poziomie $100\text{-}120\text{Nm}^3/\text{Mg}$ wsadu i ok. 15% powyżej $120\text{Nm}^3/\text{Mg}$. Podobnie w technologii Strabag, ale analizowano jedynie 4 zakłady. Słabe wyniki (poniżej $80\text{Nm}^3/\text{Mg}$) notowane są przy fermentacji mokrej z selektywnej zbiórki bioodpadów, odpadów zielonych oraz przy fermentacji obornika. Z 29 instalacji opartych na fermentacji suchej okresowej (perkolacyjnej) 86% notuje produktywność gazową poniżej $100\text{Nm}^3/\text{Mg}$, a 30% poniżej $80\text{Nm}^3/\text{Mg}$. Na podstawie publikacji można ocenić, że produktywność biogazu z instalacji perkolacyjnych jest o co najmniej 20-30% niższa niż w przypadku fermentacji suchej ciągłej.

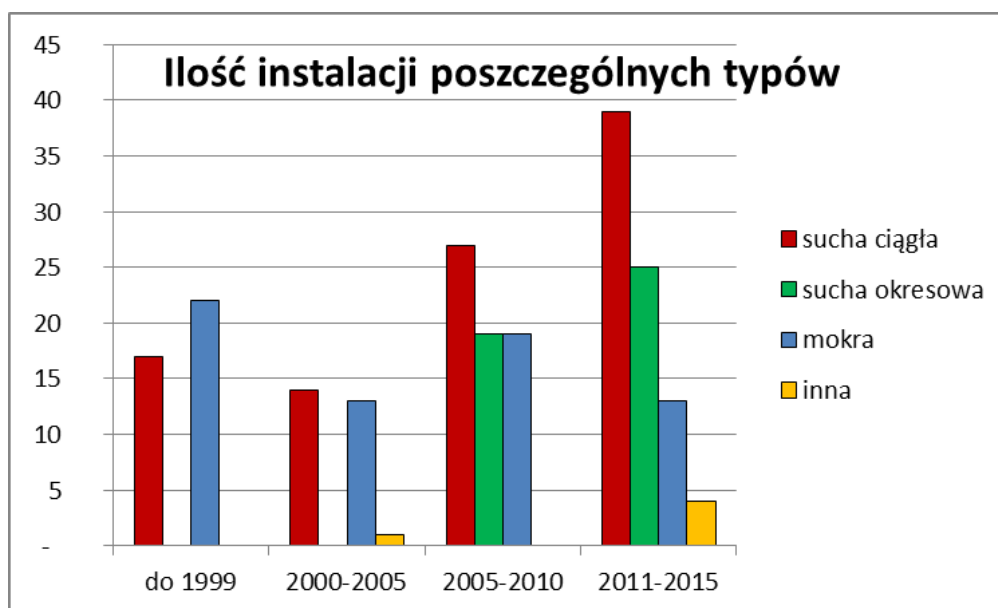
Wg przeprowadzonej analizy (A. Krzyśków 2016, na podstawie Michael Kern, Thomas Raussen – Biogas-Atlas 2014/15; Witzenhausen-Institut) obserwuje się wzrost zastosowania instalacji w technologii suchej ciągłej. Od 2006 r. w eksploatacji są również instalacje fermentacji suchej okresowej (garażowej). Wg stanu na 2015 r. 46% wszystkich instalacji to technologia sucha ciągła, 31% mokra i 21% sucha okresowa.

Rysunek 4.14 Procentowa ilość instalacji poszczególnych typów w krajach UE



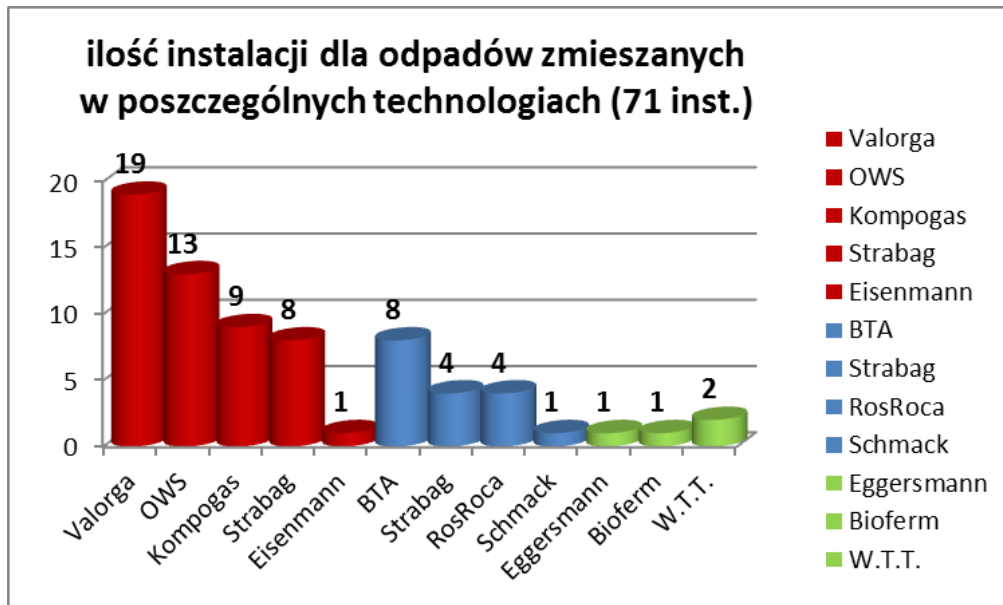
Rozwój poszczególnych technologii przed 2000 r. oraz w kolejnych pięciolatkach przedstawiono na poniższym rysunku.

Rysunek 4.15 Ilość instalacji poszczególnych typów w krajach UE



Na podstawie posiadanej wiedzy (A. Krzyśków, 2016) na frakcji organicznej wydzielonej ze zmieszanych odpadów komunalnych bazuje w Europie 71 instalacji, z czego 70% to instalacje w technologii suchej fermentacji ciągłej (Valorga, OWS, Kompogas, Strabag i Eisenmann), 24% w technologii mokrej (BTA, Strabag, RosRoca, Schmack), a 6% na technologii perkolacyjnej (Eggersmann, Bioferm, W.T.T.).

Rysunek 4.16 Ilość instalacji poszczególnych typów w krajach UE



Na podstawie Biogas-Atlas 2014/15 poniżej przedstawiono szczegółowe tabele charakteryzujące instalacje fermentacji w Niemczech osobno:

- fermentacje mokre;
- fermentacje suche ciągłe;
- fermentacje suche okresowe (garażowe).

Tabela 4.1. Zastosowanie technologii fermentacji mokrej w Niemczech [opracowanie proGEO]

rok oddania	przepustowość Mg/a	rodzaj wsadu %						temperatura		stopnie		uzysk biogazu Nm3/Mg s.m.				CHP
		bioodp.	zielone	przem.	gastron.	rolnicze	inne	mezo	termo	jedno	wiele	<80	80-100	100-120	>120	kW
1993	6 500	4	7	0	3	0	86	1					1			x
1995	110 000	0	0	27	9	64	0	1		1		1				1600
1996	18 000	0	18	2	33	14	33	1			1		1			690
1996	18 000	0	0	23	55	22	0	1		1					1	734
1996	22 000	100	0	0	0	0	0		1	1					1	650
1996	100 000	0	0	19	7	46	28		1	1						1250
1996	16 000	0	0	41	59	0	0	1		1					1	861
1996	22 000	91	0	0	1	0	8	1	1		1					360
1997	18 250	0	0	31	12	50	7	1			1	1				230
1997	16 000	100	0	0	0	0	0	1		1			1			380
1997	30 500	100	0	0	0	0	0	1			1	1				630
1997	12 000	0	0	51	49	0	0	1			1				1	700
1997	62 000	48	5	17	5	25	0	1			1			1		744
1998	18 000	25	0	50	25	0	0	1			1				1	1065
1998	10 000	100	0	0	0	0	0		1		1	1				384
1998	40 000	0	0	20	47	0	33	1		1					1	1020
1999	51 000	90	0	2	8	0	0	1		1			1			986
1999	73 000	0	0	16	72	0	12	1		1				1		1886
2000	50 000	0	0	30	70	0	0	1		1					1	sieć
2000	6 000	0	0	7	90	0	3	1			1				1	330
2001	10 000	67	0	0	0	33	0		1		1				1	450
2002	85 000	0	0	0	100	0	0	1			1			1		1323
2004	18 000	68	15	8	9	0	0		1		1		1			536
2004	17 500	62	0	13	22	0	3	1	1		1			1		500
2005	25 000	97	0	0	0	0	3	1		1				1		1030
2006	36 300	0	0	57	43	0	0	1			1				1	2128
2006	70 000	0	0	35	60	0	5	1		1		1				1480
2006	110 000	17	2	62	13	0	6	1					1			1896
2006	20 000	0	0	0	100	0	0	1		1					1	1000
2006	32 000	0	0	0	100	0	0	1			1				1	1400
2006	115 000	0	0	0	64	36	0	1		1				1		1886
2007	25 000	95	5	0	0	0	0	1			1	1				1600
2007	205 000	0	0	0	0	0	100	1		1					1	5100
2007	22 500	75	25	0	0	0	0	1								252
2007	76 500	0	0	6	90	0	4	1		1			1			2042
2008	18 000	0	0	30	70	0	0	1			1				1	890
2009	12 000	0	0	100	0	0	0	1		1					1	569
2010	51 900	0	0	24	63	0	13	1			1				1	4172
2011	120 000	0	0	0	100	0	0	1					1			3120
2012	40 000	0	0	73	27	0	0	1			1		1			1400
2012	32 500	0	0	44	22	34	0	1			1			1		sieć
2014	37 166	51	14	35	0	0	0	1			1					760

Tabela 4.2 Zastosowanie technologii fermentacji suchej w Niemczech [opracowanie proGEO]

rok	przepustowość	rodzaj wsadu %						temperatura		stopnie		uzysk biogazu Nm3/Mg s.m.				CHP
oddania	Mg/a	bioodp.	zielone	przem.	gastron.	rolnicze	inne	mezo	termo	jedno	wiele	<80	80-100	100-120	>120	kW
1989	45 000	90	0	4	0	0	6		1	1					1	1800
1994	7 500	0	0	50	50	0	0		1	1					1	400
1995	13 000	0	100	0	0	0	0		1	1		1				300
1997	20 000	97	0	3	0	0	0		1	1				1		
1997	40 000	100	0	0	0	0	0		1	1				1		921
1997	55 000	100	0	0	0	0	0	1		1				1		1829
1997	13 000	98	2	0	0	0	0		1	1				1		830
1999	22 900	75	25	0	0	0	0		1	1				1		738
1999	18 000	95	2	3	0	0	0		1	1				1		680
2000	30 000	84	16	0	0	0	0		1	1					1	938
2003	40 000	100	0	0	0	0	0		1	1					1	1487
2004	36 500	85	15	0	0	0	0		1	1					1	2213
2004	30 000	90	6	4	0	0	0		1	1					1	856
2005	18 000	77	0	5	0	0	18		1		1				1	1140
2007	20 000	75	25	0	0	0	0		1	1				1		625
2007	18 000	0	78	0	0	0	22		1	1			1			625
2008	20 000	72	14	14	0	0	0		1	1					1	875
2008	55 000	99	0	0	0	0	1		1	1				1		5300
2008	18 000	100	0	0	0	0	0		1	1			1			800
2009	18 000	75	25	0	0	0	0		1	1				1		930
2011	41 000	88	12	0	0	0	0		1	1				1		1600
2011	18 000	80	20	0	0	0	0		1	1				1		680
2011	18 250	86	14	0	0	0	0		1	1				1		590
2012	18 000	63	37	0	0	0	0		1	1			1			630
2012	18 000	100	0	0	0	0	0		1	1				1		800
2013	55 000	84	16	0	0	0	0		1	1				1		sieć
2013	60 000	100	0	0	0	0	0		1	1				1		sieć
2013	32 000	82	8	10	0	0	0		1	1				1		sieć
2013	18 250	82	13	0	0	0	5		1	1					1	700
2014	25 900	71	29	0	0	0	0		1	1						800

Tabela 4.3 Zastosowanie technologii fermentacji okresowej (garażowej) w Niemczech [opracowanie proGEO]

rok	przepustowość	rodzaj wsadu %						temperatura		stopnie		uzysk biogazu Nm3/Mg s.m.				CHP
oddania	Mg/a	bioodp.	zielone	przem.	gastron.	rolnicze	inne	mezo	termo	jedno	wielo	<80	80-100	100-120	>120	kW
2006	10 000	100	0	0	0	0	0	1		1			1			191
2007	25 000	95	5	0	0	0	0	1			1	1				1600
2007	22 500	100	0	0	0	0	0	1		1			1			570
2007	24 000	98	2	0	0	0	0	1		1			1			680
2007	18 250	20	10	0	0	0	70	1		1					1	1050
2008	18 000	38	62	0	0	0	0	1		1			1			364
2008	30 000	95	5	0	0	0	0	1		1			1			1150
2008	10 000	100	0	0	0	0	0	1		1			1			330
2008	13 000	49	21	0	0	0	30	1		1						840
2009	18 150	95	2	0	0	0	3	1		1		1				625
2009	23 500	90	3	1	0	0	6	1		1		1				660
2009	40 000	80	20	0	0	0	0	1		1			1			sieć
2010	12 000	90	1	9	0	0	0	1		1			1			370
2010	18 250	69	31	0	0	0	0	1		1		1				365
2011	15 000	100	0	0	0	0	0		1	1			1			500
2011	15 000	86	14	0	0	0	0	1		1			1			440
2011	31 000	0	40	0	0	0	60	1		1			1			265
2011	18 000	25	45	10	10	0	10	1		1				1		610
2011	23 000	94	6	0	0	0	0	1		1		1				450
2011	70 000	95	5	0	0	0	0	1		1		1				sieć
2011	18 000	92	8	0	0	0	0	1		1		1				500
2012	30 000	80	20	0	0	0	0		1	1			1			800
2012	15 200	0	52	0	0	0	48	1							1	540
2012	18 250	100	0	0	0	0	0	1		1			1			537
2013	16 100	40	60	0	0	0	0	1		1		1				260
2013	18 000	100	0	0	0	0	0	1		1				1		527
2013	16 100	40	60	0	0	0	0	1		1		1				365

Analizując powyższe tabele poniżej przedstawiono podsumowanie zastosowania poszczególnych rodzajów technologii fermentacji.

Tabela 4.4. Podsumowanie zastosowania technologii fermentacji bioodpadów w Niemczech [opracowanie proGEO]

Technologie fermentacji bioodpadów w Niemczech wg Biogas-Atlas 2014/15 (oprac. A. Krzyśków, proGEO)

Technologia	mokra	sucha ciągła	sucha okresowa (garażowa)
ilość instalacji ¹⁾	42 od 1993 r. do dzisiaj (od 2010 r. 5 instalacji, w tym 1 na bioodpady)	30 od 1989 r. - ciągły rozwój (od 2010 r. - 10 instalacji)	27 od 2006 r. - ciągły rozwój (od 2010 r. - 15 instalacji)
w tym instalacje dla bioodpadów i odpadów zielonych	30%	95%	90%
możliwość dodawania współproduktów (gastronomia, handel, rolnictwo)	tak przewaga gastronomii, handlu, przemysłu i rolnictwa	tak przemysł, gastronomia, inne	sporadycznie inne
średnia przepustowość instalacji (w nawiasie mediana)	45.000 Mg/a (28.000 Mg/a)	28.000 Mg/a (20.000 Mg/a)	22.000 Mg/a (18.000 Mg/a)
rodzaj technologii	głównie mezofilowa (rzadziej termofilowa), jedno- lub wielostopniowa	głównie termofilowa, jednostopniowa	głównie mezofilowa, jednostopniowa
uzysk biogazu deklarowany	<100 Nm³/Mg dla ponad 80% instalacji >100 Nm³/Mg dla odpadów z gastronomii i przemysłu	>100 Nm³/Mg dla 90% instalacji, z czego 1/3 - >120 Nm³/Mg	<100 Nm³/Mg dla 95% instalacji, z czego 50% <80 Nm³/Mg
max. uzysk biogazu wg zainstalowanej mocy silnika i nominalnej ilości odpadów ²⁾	45-95 Nm ³ /Mg	110-210 Nm ³ /Mg	60-150 Nm ³ /Mg
j.w. mediana	115 Nm ³ /Mg	150 Nm ³ /Mg	115 Nm ³ /Mg

¹⁾ instalacje poddane analizie (z dostępnymi pełnymi danymi), do 2015 r.

²⁾ dla 80-90% instalacji, dla technologii mokrej obejmuje instalacje dla bioodpadów i odpadów zielonych

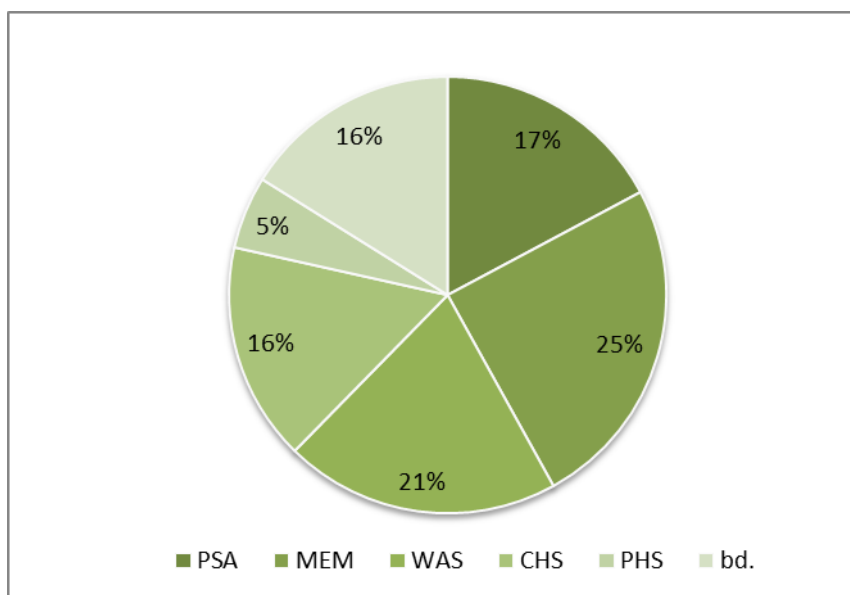
4.2.2 Możliwości produkcji biometanu w Europie

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie produkcją biometanu ze zmieszanych odpadów komunalnych oraz selektywnie zebranej frakcji odpadów ulegających biodegradacji. Zgodnie z opracowaniem European Biomethane map – Infrastructure for biomethane production 2020, wykonanego przez EBA – European Biogas Association, pod koniec 2018 roku w Europie wraz z UK, funkcjonowało 610 instalacji produkujących biometan z różnego rodzaju surowców (m.in. odpady rolnicze, odpady z oczyszczalni ścieków). Obecnie, ilość instalacji do produkcji wzrosła do 729.

Instalacje produkujące biometan ze zmieszanych odpadów komunalnych oraz odpadów komunalnych ulegających biodegradacji (Bio – and Municipal Waste) stanowią ok. 12% wszystkich instalacji, co daje wynik ok. 90 zakładów w Europie oraz UK.

Większość instalacji w Europie wykorzystuje węzeł oczyszczania i kondycjonowania wyprodukowanego gazu. Najczęściej wykorzystywaną metodą kondycjonowania biogazu są techniki membranowe (MEM) oraz płuczka wodna (WAS). Poniżej przedstawiono zestawienie technik oczyszczania gazu, na podstawie ww. opracowania.

Rysunek 4.17. Zestawienie technik kondycjonowania gazu wykorzystywanych w zakładach produkujących biometan



(PSA – adsorpcja zmiennociśnieniowa, MEM – techniki membranowe, WAS – płuczka wodna, CHS – płuczka chemiczna, PHS – absorpcja fizyczna, bd. – brak danych)

Obecnie, najwięcej instalacji do produkcji biometanu znajduje się w Szwecji (ok. 17 instalacji) oraz w Niemczech (ok. 14 instalacji).

4.2.3 Przykłady technologii fermentacji (stabilizacji beztlenowej) w Polsce

Pierwsze instalacje stabilizacji beztlenowej w Polsce związane były z technologiami mokrej fermentacji (współfermentacji z osadami ściekowymi). Pierwsza instalacja została oddana do użytku w Jędrzychowicach k. Zgorzelca w 1999 r. w technologii Passavant Roediger. Od 2001 r. funkcjonował zakład w Puławach (w technologii BTA), a od 2006 r. w Krośnie (RosRoca Biostab) [Krzyśków A., 2013]. Obecnie instalacje te funkcjonują w ograniczonym zakresie.

Pierwszą instalację bazującą na frakcji wydzielonej z odpadów zmieszanych w technologii suchej fermentacji w technologii OWS Dranco oddano do użytku w lipcu 2010 r. w Trzebania k. Leszna (MZO Leszno). W 2014 r. oddano do użytku trzy kolejne instalacje suchej stabilizacji beztlenowej frakcji organicznej wydzielonej ze strumienia zmieszanych odpadów komunalnych w Białej Podlaskiej (BWiK WOD-KAN, technologia Eisenmann), Tychach (Master sp. z o.o., Strabag) i Gaci k. Olawy (ZGO Gać sp. z o.o., Vinci Environnement - Kompogas), a w 2015 r. w Stalowej Woli (MZK Sp. z o.o., technologia Strabag), Jarocinie (ZGO sp. z o.o., Vinci Environnement - Kompogas). W 2016 zakończono budowy instalacji w Promniku (PGO Kielce, Strabag), inwestycja Związku Komunalnego Gmin Ziemi Lubartowskiej w technologii suchej perkolacyjnej W.T.T. w Wólce Rokickiej k. Lubartowa oraz w ZZO w Suchym Lesie w technologii suchej fermentacji perkolacyjnej w technologii Kompoferm (Eggersmann) bazującej na bioodpadach z selektywnej zbiórki.

Tabela 4.5 Zestawienie instalacji suchej fermentacji w Polsce wg stanu sierpień 2021

Instalacja	rodzaj odpadów	technologia	rok oddania	ilość komór	wydajność [Mg/rok]	stabilizacja tlenowa
MZO Leszno Trzebania	0-80mm z OKZ	OWS DRANCO	2010	1	25.000	plac otwarty
BWiK WOD-KAN Biała Podlaska	0-80mm z OKZ	EISENMANN	2014	2	20.000	ENTSORGA
MASTER Tychy	0-60mm z OKZ	STRABAG	2014	2	18.000	STRABAG
ZGO Gać	0-60mm z OKZ	VE KOMPOGAS	2014	2	18.000	COMPOST SYSTEMS
MZK Stalowa Wola	0-60mm z OKZ	STRABAG	2015	1	15.000	AR-VAL
ZGO Jarocin	0-60mm z OKZ	VE KOMPOGAS	2015	1	15.000	HANTSCH
ZZO Poznań	bio-odpady	KOMPOFERM EGGERSMANN	2016	box	30.000	KOMPOFERM EGGERSMANN
PGO Kielce	0-80mm z OKZ	STRABAG	2016	2	30.000	BIOFIX
Lubartów ZKGZL	0-80mm z OKZ	WTT	2016	box	18.000	plac otwarty/tunel kompostowy

Rysunek 4.18 Przykłady instalacji w Polsce w technologii mokrej



Instalacje fermentacji mokrej – Jędrzychowice (Passavant Roediger), Puławy (BTA) i Krosno (RosRoca), fot. proGEO

Rysunek 4.19 Przykłady instalacji w Polsce w technologii suchej ciągłej



Technologia OWS DRANCO – Trzebania, k. Leszna; technologia EISENNMANN – Biała Podlaska, fot.: proGEO



Technologia Strabag – Tychy; technologia VE Kompogas – Gać k. Oławy, fot. proGEO

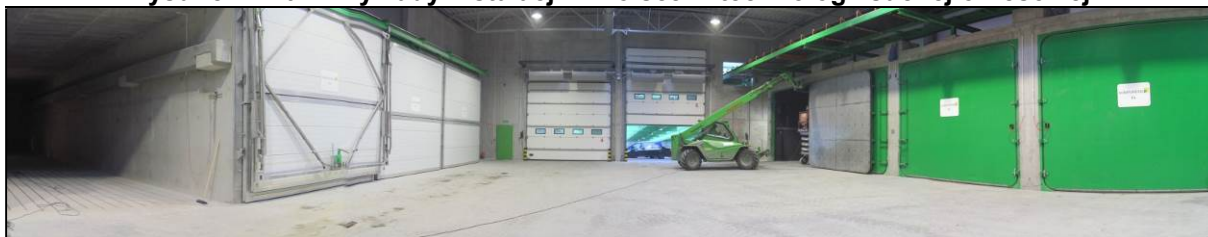


Technologia Strabag – Stalowa Wola; technologia VE Kompogas – Jarocin, fot. proGEO



Technologia Strabag – Promnik k. Kielc, fot. proGEO

Rysunek 4.20 Przykłady instalacji w Polsce w technologii suchej okresowej



Technologia Kompoferm Eggersmann – Suchy Las k. Poznania, fot. proGEO



technologia W.T.T. Wólka Rokicka k. Lubartowa, fot. proGEO

4.3 Podsumowanie

W poprzednim rozdziale przedstawiono analizę dostępnych technologii fermentacji i przeanalizowano przydatność dla potrzeb przedmiotowej lokalizacji. Technologie fermentacji mokrej wykluczono ze względu na spodziewane parametry wsadu (odpad „suchy”). Poniżej dla pełnej analizy porównawczej technologii suchych ciągłych oraz technologii suchych okresowych (perkolacyjnych) przedstawiono wybrane parametry porównawcze dla obu technologii.

Tabela 4.6 Wybrane parametry porównawcze technologii poziomych suchych, ciągłych i okresowych
[opracowanie proGEO]

Lp.	Typ technologii	ZALETY (+)	WADY (-)
1	Fermentacja sucha ciągła	Referencyjne Zakłady pracujące na odpadach biodegradowalnych w Europie zachodniej.	Proces bardziej "wrażliwy" niż fermentacja perkolacyjna na źle przygotowany wsad (worki foliowe, fr. ciężka, szkło etc.) UWAGA! W praktyce i tak należy bardzo dobrze przygotować wsad (oczyścić) aby spełniał docelowo wymagania dla kompostu.
		Referencyjne Zakłady pracujące na odpadach zmieszanych w Europie zachodniej, Odpady zmieszane traktowane są jako frakcja znacznie trudniejsza do przefermentowania. Referencyjne zakłady pracujące na tym wsadzie gwarantują poprawność działania procesu na wsadzie z odpadów biodegradowalnych.	Konieczność zastosowania modułu odwadniania pofermentatu. UWAGA! Dobrze odwodniony pofermentat nie wymaga jego późniejszego mieszania ze strukturą, dodatkowo skróceniu ulega czas stabilizacji tlenowej.
		Efektywny czas produkcji biogazu - blisko 100%. W konsekwencji większa o ok. 20% produkcja biogazu z tony wsadu w stosunku do technologii fermentacji suchej okresowej.	
		Krótsze przetrzymanie w reaktorze: fermentacja sucha ciągła cykl ok. 18 dni,	
		Automatyczny załadunek.	
		Możliwość zagospodarowania wód opadowych (wykorzystania w procesach technologicznych).	
		Mniejsze niż w fermentacji okresowej - prace budowlane (brak hal, galerii etc.).	
		Proces w zamkniętym reaktorze - minimalizacja ryzyka wybuchu (fermenter nie jest otwierany).	
		Proces ciągły, stabilna produkcja gazu o uśrednionym składzie.	
		Proces prowadzony w warunkach termofilowych – higienizacja wsadu i wykorzystanie odcieku jako nawóz płynny w przypadku pracy na selektywnie zbieranych odpadach kuchennych i z przemysłu gastronomicznego.	
		Zgodnie z opisem podstawowych dostępnych technologii (Konkluzje BAT, Draft 1, tab. 4.21. str. 407) – proces może być zastosowany dla bioodpadów z gospodarstw domowych, przemysłu, handlu i rolnictwa oraz frakcji organicznej ze zmieszanych odpadów komunalnych.	
		Ze względu na możliwość prowadzenia procesu w warunkach termofilowych następuje higienizacja odcieków, co w przypadku pracy na bioodpadach z selektywnej zbiórki daje zhygienizowany nawóz płynny.	
		Specyfika procesu tłokowego pozwala na wymieszanie odpadu w komorze co sprzyja uwalnianiu biogazu oraz pozwala utrzymać jednolitą temperaturę całego wsadu komory (lepszą higienizacja)	
		Możliwość dozowania reagentów do komory w trakcie trwania procesu.	
2	Fermentacja sucha, okresowa (perkolacyjna)	Referencyjne Zakłady pracujące na odpadach biodegradowalnych w Europie zachodniej.	Efektywny czas produkcji biogazu -ok. 80% cyklu. W konsekwencji mniejsza o ok. 20% produkcja biogazu z tony wsadu w stosunku do technologii fermentacji suchej ciągłej
		Proces mniej "wrażliwy" na źle przygotowany wsad	

		(worki foliowe, fr. ciężka, szkło etc.) UWAGA! W praktyce i tak należy bardzo dobrze przygotować wsad (oczyścić) aby spełniał docelowo wymagania dla kompostu. Dodatkowo nie dostatecznie oczyszczony wsad, może skutkować zanieczyszczeniem perkolatu i idąc dalej filtrów systemu zraszania.	
		Ze względu na wilgotność wsadu brak konieczności modułu odwadniania. UWAGA! Mniej odwodniony pofermentat trzeba jednak wymieszać ze strukturą oraz wydłużyć się proces stabilizacji tlenowej.	Dłuższe przetrzymanie w reaktorze cykl ok. 28 dni
		Ze względu na możliwość prowadzenia procesu w warunkach termofilowych następuje higienizacja odcieków, co w przypadku pracy na bioodpadach z selektywnej zbiórki daje zhygienizowany nawóz płynny. UWAGA! Dotyczy tylko wybranych dostawców.	Załadunek i wyładunek za pomocą ładowarki (brak automatyzacji) – koszty ładowarki i obsługi
		W przypadku zwiększonego zasarczenia gazu możliwość "odcięcia" komory i nie pogarszanie parametrów gazu już wyprodukowanego.	Konieczny bezwzględny reżim technologiczny – otwarcie komór i minimalizacja stref wybuchowych
		Mniejsze zapotrzebowanie na wodę do procesów technologicznych i w konsekwencji mniejsza produkcja odcieków do utylizacji.	W przypadku produkcji biogazu o zbyt niskich parametrach dla agregatów kogeneracyjnych (za dużo CO ₂ i O ₂ , za mało CH ₄) istnieje ryzyko, że gaz będzie trudno zutylizować również na pochodni (zbyt mało CH ₄ , zbyt dużo O ₂). W konsekwencji gaz najpierw trafia do zbiornika biogazu, później na pochodnię a na końcu (gdy nie może być już spalony) na instalację oczyszczania powietrza
		Zgodnie z opisem podstawowych dostępnych technologii (Konkluzje BAT, Draft 1, tab. 4.21. str. 407) – proces jest powszechnie stosowany dla wymieszanych odpadów kuchennych i ogrodowych o znacznej zawartości materiału strukturalnego oraz obornika i roślin energetycznych	Konieczność budowania drugiego zbiornika perkolatu (alternatywnie budowa zbiornika dwukomorowego) w przypadku pracy na: frakcjach biodegradowalnych ze zmieszanych odpadów i bioodpadach z selektywnej zbiórki. Konieczność okresowego czyszczenia zbiornika i utylizacji perkolatu w okresach 2-3 lata.
			Ze względu na specyfikę procesu brak możliwości mieszania w komorze. Materiał nie wymieszany ma mniejszą zdolność do uwalniania biogazu oraz dodatkowo trudność utrzymania jednolitej temperatury wsadu (higienizacja)
			Skokowa produkcja biogazu o zmiennych parametrach jakościowych
			Możliwość kontaktu materiału wsadowego z pofermentatem (załadunek/wyładunek), a tym samym powtórnego skażenia materiału, co ma szczególne znaczenie przy nastawieniu na produkcję kompostu
			Konieczność stosowania znacznie droższych urządzeń (przenośniki, napędy, ładowarka kołowa etc.) spełniających wymagania ATEX
			Brak możliwości dozowania reagentów do komory w trakcie trwania procesu.