



Zastosowanie reaktora kompaktowego do fermentacji metanowej odpadów komunalnych

Robert Sidelko, Anna Chmielińska-Bernacka
Politechnika Koszalińska

1. Wstęp

Ilość instalacji wykorzystujących proces fermentacji metanowej do przetwarzania odpadów komunalnych w Europie systematycznie rośnie. W okresie 10 lat, poczynając od 1984 do 1994 roku, w krajach członkowskich UE wybudowano 15 instalacji przemysłowych do fermentacji metanowej odpadów [1]. Kolejne 10 lat, tj. do 2004 roku, przyniosły wzrost liczby instalacji do 65 obiektów [2]. Jednocześnie, całkowita przepustowość zakładów z 50 tys. Mg/rok w 1994 r., wzrosła do poziomu blisko jednego miliona ton w 2004 r., co wskazuje na szybki wzrost zainteresowania fermentacją metanową, jako metodą zagospodarowania odpadów komunalnych w krajach wysoko rozwiniętych. Ilość wybudowanych w Polsce instalacji wykorzystujących tę metodę, w porównaniu do pozostałych krajów UE, jest relatywnie niska. Obecnie działa kilka instalacji do fermentacji metanowej odpadów komunalnych [3]. Powstały zakłady między innymi w Zgorzelcu, Puławach i Rzeszowie o przepustowości odpowiednio: 10, 22 i 50 tys. Mg/rok (fermentacja mokra) oraz w Trzebani (fermentacja sucha) o przepustowości 26 tys. Mg/rok. Łączna ilość odpadów przetwarzanych w instalacjach przemysłowych wynosi ok. 110 tys. Mg/rok, co w odniesieniu do całkowitej ilości wytwarzanych w Polsce odpadów komunalnych na poziomie ok. 12 ml Mg/rok (wg rocznika GUS, 2010), stanowi niespełna 1%. Świadczy to, jak duży potencjał posiada krajowy rynek odpadów w kontekście zastosowania dostępnych oraz wprowadzania nowych technologii związanych z fermentacją metanową.

Czynnikiem, który będzie w coraz większym stopniu wpływał na wybór metody biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych będą koszty eksploatacyjne [4]. Bez wątpienia, zastosowanie fermentacji metanowej pozwalającej uzyskać biogaz przekształcany na użyteczną formę energii, sprzyja obniżeniu tych kosztów i preferuje technologie wykorzystujące tą metodę. Potwierdzają to wieloletnie obserwacje z których wynika, że w zakładach o przepustowości powyżej 15 tys. Mg/rok bardziej opłacalne w odróżnieniu od alternatywnego kompostowania bioodpadów jest poddanie ich procesowi fermentacji [5]. Niezależnie od wielkości instalacji do fermentacji metanowej, ilość energii uzyskanej z wyprodukowanego biogazu znacznie przewyższa zapotrzebowanie energetyczne urządzeń związanych z samą technologią fermentacji. Przyjmując odpowiednie wskaźniki opisujące zużycie energii, w tym energii elektrycznej i cieplnej, na poziomie 160 kWh/Mg wsadu oraz ilość energii netto uzyskiwanej z biogazu w granicach od 400 do 800 kWh/Mg wsadu można szacować, że nadwyżka wytworzonej energii wynosi 240–640 kWh/Mg przetwarzanych odpadów [6].

Korzystny bilans energetyczny uzasadnia budowę instalacji do fermentacji metanowej, produkującej energię wyłącznie na potrzeby własne. Jest to nowa koncepcja, która w odróżnieniu od stosowanej obecnie zakłada wykorzystanie pewnej części zamiast całej masy dostępnego surowca np. frakcji organicznej wydzielonej z odpadów komunalnych. Priorytetem w tym przypadku jest optymalizacja przebiegu procesu fermentacji pod kątem ilości wytwarzanego biogazu, co wymaga zastosowania bioreaktora o odpowiedniej konstrukcji. Jedną z możliwości jest zastosowanie wysokosprawnego reaktora kompaktowego, którego sposób działania i budowa zostały zastrzeżone w zgłoszeniu do Urzędu Patentowego nr P.398238 z 27.02.2012 r.

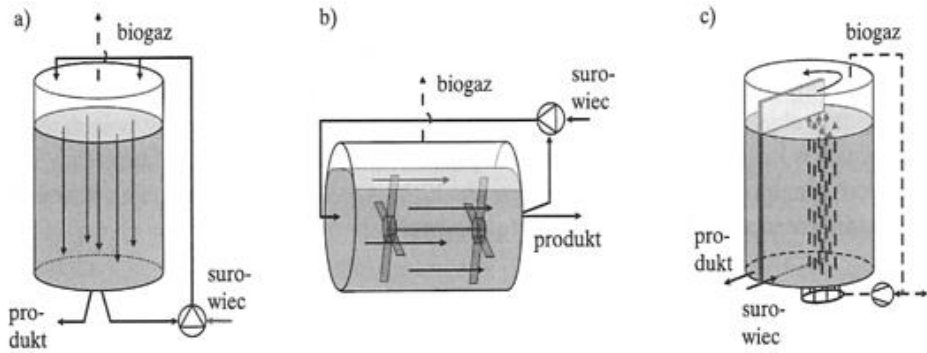
2. Opis reaktorów

Przedsyponowaną technologią fermentacji frakcji organicznej odpadów komunalnych jest tzw. fermentacja sucha, przebiegająca w warunkach niskiego uwodnienia 35% s.m. (40–20% s.m.), która pozwala na znaczne zmniejszenie objętość reaktora w porównaniu do fermentacji przebiegającej w warunkach dużej wilgotności [8]. Wspólną cechą stosowanych obecnie reaktorów do przebiegu fermentacji suchej jest sposób

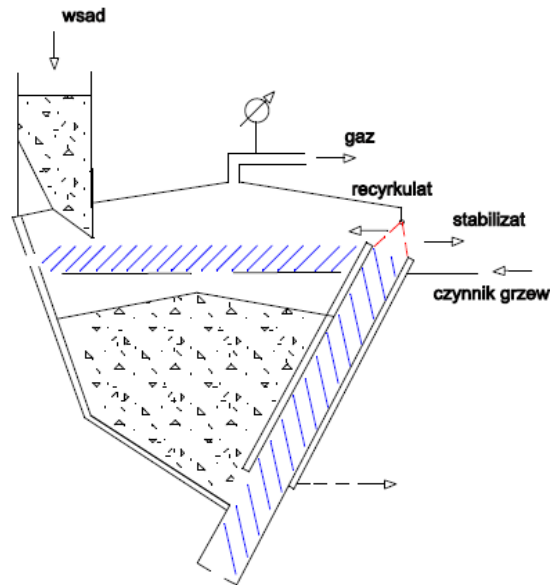
przemieszczania masy organicznej wewnątrz i poza reaktorem w ramach recyrkulacji oraz doprowadzenie ciepła niezbędnego do uzyskania optymalnych warunków temperaturowych związanym z intensywnością przemian biochemicznych. Najczęściej stosowanymi urządzeniami zapewniającym przepływ na etapie załadunku wsadu są wysokowydajne pompy o specjalnej konstrukcji, umożliwiające transport medium o dużej zawartości ciał stałych. Specyfika frakcji organicznej polegająca między innymi na obecności części mineralnych i drobnych fragmentów metalowych, stwarza problemy eksploatacyjne polegające na zużyciu części ruchomych tych urządzeń. Ponadto, pionowe przemieszczanie masy wewnątrz reaktorów wymaga wysokiego ciśnienia czynnego pomp gwarantującego wymagany przepływ. Korzystniejszym w tym przypadku rozwiązaniem jest przepływ wykorzystujący siłę grawitacji, która określa kierunek przemieszczania się wsadu z jednej do drugiej części reaktora. Niezależnie od kierunku przepływu masy w reaktorze, istotnym zagadnieniem, wspomnianym na wstępie, jest uzasadniona technologicznie konieczność mieszania wsadu w trakcie procesu fermentacji. W przypadku fermentacji przebiegającej w warunkach niskiego uwodnienia, gdy zawartość suchej masy wynosi 20–40% stosuje się reaktory o przepływie tłokowym różniące się przede wszystkim sposobem mieszania wsadu w reaktorze (rys. 1). Firma Dranco opracowała reaktor pionowy do którego wsad dostarczany jest pompą do górnej części, a następnie grawitacyjnie przemieszcza się do części dolnej reaktora. Reaktor firmy Kompogas o cylindrycznym kształcie, ułożony poziomo, posiada osiowo usytuowane mieszadła sprzyjające homogenizacji i odgazowaniu wsadu. Odmienny sposób mieszania wsadu zastosowano w reaktorach Valorga, gdzie wykorzystano do tego celu strumień biogazu wtłaczany pod ciśnieniem do przemieszczających się odpadów.

We wszystkich opisanych powyżej reaktorach zastosowano zewnętrzną recyrkulację stabilizatu polegającą na przetłaczaniu go za pomocą pomp tłokowych.

W reaktorze kompaktowym zastosowano recyrkulację wewnętrzną i wyeliminowano pompy zastępując je podajnikami ślimakowymi (rys. 2). Jest to rozwiązanie korzystniejsze ze względu na prostą konstrukcję i niezawodność tego typu urządzeń. Ponadto, wewnętrzna recyrkulacja nie powoduje wychłodzenia stabilizatu podczas przetłaczania rurociągami zmniejszając tym samym zużycie energii cieplnej.



Rys. 1. Reaktory do fermentacji suchej: a) Dranco, b) Kompogas, c) Valorga
Fig. 1. Reactors for dry fermentation



Rys. 2. Budowa i zasada działania reaktora kompaktowego
Fig. 2. Construction and operation of compact reactor

W odróżnieniu od istniejących reaktorów przewidziano również podgrzewanie wsadu w trakcie procesu, co w przypadku fermentacji metanowej umożliwia utrzymanie stabilnych warunków mezo lub termofilowych w zależności od przyjętych parametrów procesowych.

3. Potencjał aplikacyjny reaktora kompaktowego

Potencjał rynku, w kontekście zastosowania reaktora kompaktowego, określono wykorzystując technikę analityczną **SWOT**, polegającą na zdefiniowaniu czterech grup stanowiących cztery kategorie czynników strategicznych tj.: **S** (*Strengths*) – mocne strony: wszystko to co stanowi atut, przewagę, zaletę analizowanego rozwiązania, **W** (*Weaknesses*) – słabe strony: wszystko to, co stanowi słabość, barierę, wadę analizowanego rozwiązania, **O** (*Opportunities*) – szanse: wszystko to, co stwarza dla analizowanego obiektu szansę korzystnej zmiany i **T** (*Threats*) – zagrożenia: wszystko to, co stwarza dla analizowanego rozwiązania niebezpieczeństwo zmiany niekorzystnej.

Analizę przeprowadzono wykorzystując informacje dotyczące ilości przetwarzanych odpadów oraz struktury organizacyjnej Przedsiębiorstwa Gospodarki Komunalnej w Koszalinie (PGK) przyjmując je, jako reprezentatywne dla pozostałych przedsiębiorstw branżowych w skali kraju. Przedsiębiorstwo to przetwarza rocznie ok. 48000 Mg odpadów. Zapotrzebowanie na energię elektryczną stopnia mechanicznego tj. przesiewania i segregacji wynosi średnio 300kWh. Z badań strukturalnych odpadów wynika, że udział frakcji organicznej w tych odpadach, zawierającej 80% s.o., wynosi 41%, co daje rocznie 19680 Mg surowca [7]. Przyjmując wskaźnik JPB = 0,3 m³/kg s.o. i 21 MJ/m³, potencjał energetyczny w tym przypadku wynosi: 19680 Mg · 0,60 (s.m.) · 0,8 (s.o.) · 0,3 m³/kg s.o. · 5,83 kWh/m³ (21 MJ/m³) = 16521,7 GWh, przy czym energia elektryczna wytworzona w wyniku zastosowania silnika ko generacyjnego w ciągu roku, wyniosłaby: 16521,7 GWh · 0,8 · 0,5 = 6600 GWh. Zakładając ciągłą pracę silnika gazowego, można określić moc nominalną jednostki w następujący sposób: 6600 GWh/330 dni · 24 h · 3600 s = 230 kW.

W sytuacji, gdy podstawą doboru układu ko generacyjnego jest produkcja energii elektrycznej na potrzeby własne zakładu, należy uwzględnić przede wszystkim działanie urządzenia w czasie godzin pracy z mocą wynikającą z ciągłego zapotrzebowania na energię elektryczną. Ponieważ sprawność silnika gazowego osiąga największą wartość, gdy urządzenie pracuje z mocą nominalną, to dokonując jego doboru należy wziąć pod uwagę nierównomierność zużycia energii elektrycznej w ciągu dnia pracy zakładu (ZUO). Takie podejście wiąże się z koniecznością okresowego pokrywania niedoboru energii z zewnętrznej sieci

elektroenergetycznej, jednak zapewnia najkorzystniejsze warunki pracy silnika gazowego. Przyjmując wartość współczynnika nierównomierności zużycia energii elektrycznej równą 0,6, uzyskujemy moc 180 kW, co uzasadnia dobór silnika przystosowanego do spalania biogazu np. Vito-bloc typu FG 120 (120 kW_{el}/355 kW wg. DTR Wiessmann). Wielkość komory roboczej reaktora, gwarantującej dostawę gazu w ciągu 8 godzin pracy ZUO, można określić w następujący sposób: $355 \text{ kJ/s} \cdot (21000 \text{ kJ/m}^3)^{-1} \cdot 8 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s} = 487 \text{ m}^3 \text{ gazu}$; $487 \text{ m}^3 \cdot (7 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1} = 70 \text{ m}^3$.

Oszczędność wynikająca wyłącznie ze zmniejszenia zakupionej energii elektrycznej, przyjmując stawkę opłat w wysokości 0,6zł/kWh, to ok. 161 tys. zł rocznie. Dodatkowe oszczędności wynikałyby z wykorzystania energii elektrycznej w dniach, kiedy zakład nie przyjmuje odpadów oraz wykorzystania energii cieplnej potrzebnej, poza technologią fermentacji, do ogrzewania budynków na terenie ZUO. Ilość surowca gwarantująca pracę silnika o mocy 355kW wyniosłaby, w skali roku: $355 \text{ kW} \cdot 8 \text{ h} \cdot 280 \text{ dni} / (5,83 \text{ kWh/m}^3 \cdot 0,60 \text{ (s.m.)} \cdot 0,8 \text{ (s.o.)} \cdot 0,3 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (s.o)}) = 950 \text{ Mg}$, co stanowi niecałe 5% z 19680 Mg, tj. rocznej ilości surowca dostępnego dla PGK Koszalin. Koszt budowy kompletnej instalacji z reaktorem o objętości 70 m³, wyposażonej w: silnik kogeneracyjny 355 kW, zbiornik biogazu 20 m³, złożę do oczyszczania biogazu oraz przewody wyniesie ok. 2 ml zł. Uwzględniając oszczędności wynikające z zagospodarowania energii pozyskanej ze spalania biogazu, zwrot poniesionych kosztów nastąpiłby w okresie od 9 do 13 lat w zależności od stopnia wykorzystania energii cieplnej stanowiącej energię „odpadową” związaną z chłodzeniem silnika gazowego.

Biorąc pod uwagę aspekt techniczno-ekonomiczny można wyróżnić i opisać charakterystyczne elementy analizy SWOT, zestawione w poniższej tabeli (tab. 1).

Zdefiniowanie, w powyższy sposób, słabych i mocnych stron planowanego przedsięwzięcia i poddanie ich analizie wzajemnych powiązań, pozwala określić potencjał aplikacyjny technologii stanowiącej istotę projektu. W praktyce, polega to na przeprowadzeniu krytycznej oceny i uzyskaniu odpowiedzi na następujące pytania:

1. czy dana mocna strona pozwoli nam wykorzystać daną szansę?
2. czy dana mocna strona pozwoli nam zniwelować dane zagrożenie?
3. czy dana słaba strona ogranicza możliwość wykorzystania danej szansy?
4. czy dana słaba strona potęguje ryzyko związane z danym zagrożeniem?

Tabela 1. Opis poszczególnych elementów analizy SWOT**Table 1.** Description of elements of SWOT analysis

Czynnik zewnętrzny	
Mocna strona	Słaba strona
<ul style="list-style-type: none"> • Własne, tanie źródło energii elektrycznej i ciepłej. • Możliwość częściowego uniezależnienia się od zewnętrznych dostawców energii. • Zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych zakładu. • Reaktor wyposażony w urządzenia zintegrowane z jego konstrukcją, jest urządzeniem komplementarnym. • Łatwy i czytelny sposób doboru reaktora. • Sposób działania i budowa reaktora zostały zastrzeżone w zgłoszeniu patentowym. • Możliwość zastosowania reaktora niezależnie od dostępnej ilości surowca w postaci odpadów organicznych. • Wykorzystanie reaktora zgodne ze strategią wzrostu udziału źródeł energii odnawialnej w bilansie energetycznym kraju. • Możliwości pozyskania dotacji i niskoprocentowanych kredytów ze środków funduszy ochrony środowiska promujących technologie pro ekologiczne. 	<ul style="list-style-type: none"> • Konieczność opracowania dokumentacji budowlanej z uwzględnieniem wszystkich aspektów uruchomienia nowej instalacji. • Zaangażowanie własnych środków finansowych. • Okres zwrotu poniesionych nakładów wynoszący średnio 11 lat • Zapewnienia stałych dostaw niektórych składników wsadu.
Czynnik wewnętrzny	
szansa	zagrożenie
<ul style="list-style-type: none"> • Wprowadzenie na rynek nowego produktu. • Rozwój przedsiębiorstw produkcyjnych, firm budowlanych i projektowych. • Rozwój technologii w zakresie reaktorów do fermentacji suchej odpadów • Zwiększenie możliwości zagospodarowania odpadów organicznych. • Zwiększenie zainteresowania wśród odbiorców technologią fermentacji metanowej poprzez umożliwienie zastosowania procesu w dowolnej skali. 	<ul style="list-style-type: none"> • Trudności w pozyskaniu środków inwestycyjnych. • Zmiana priorytetów państwa w zakresie wspierania wybranych działów gospodarki. • Brak inicjatywy jednostek zajmujących się gospodarką odpadami wynikająca z przekonania, że koszt funkcjonowania ZUO zostanie wliczony w tzw. opłatę depozytową, czyli klient i tak zapłaci za przetwarzanie odpadów.

Niewątpliwie, proponowany reaktor kompaktowy jest rozwiązaniem nowatorskim, nie oferowanym przez firmy branżowe. Wprowadzenie na rynek tego typu urządzenia, nie jest zatem ograniczone czynnikiem konkurencyjności w kontekście podobnych, oferowanych na rynku urządzeń. Zaletą reaktorów kompaktowych jest możliwość doboru urządzenia nie zależnie od ilości dostępnego surowca. Powoduje to, że fermentacja metanowa będzie możliwa do zastosowania również w przypadku firm posiadających odpady organiczne powstające w trakcie produkcji np. w sektorze przetwórstwa rolno-spożywczego. Upowszechnienie poprzez rozszerzenie obszarów zastosowania technologii fermentacji jest zasadniczą wartością projektu. Poszczególne wersje bioreaktorów, mogą posiadać pełną dokumentację techniczną, co umożliwi w przyszłości opracowanie typoszeregu urządzeń pozwalający na ich szybki dobór.

Czynnikiem istotnie wpływającym na decyzję o realizacji danego przedsięwzięcia mogą być koszty inwestycyjne, które w przypadku wykorzystania reaktora kompaktowego są stosunkowo wysokie. Również procedura administracyjna związana z budową instalacji mogącej oddziaływać na środowisko naturalne utrudnia podjęcie decyzji o rozpoczęciu inwestycji. Biorąc pod uwagę, czas zwrotu poniesionych wydatków, szacowany na okres 9–13 lat, można zakwalifikować inwestycję związaną z przetwarzaniem odpadów organicznych w procesie fermentacji metanowej, jako średnioterminową. Wzrost efektywności, mierzonej czasem zwrotu środków własnych, jest w tym przypadku realny poprzez uzyskanie niskooprocentowanych kredytów i dotacji z różnego typu programów unijnych i funduszy. Ostatecznie, czas zwrotu poniesionych wydatków może ulec skróceniu, a więc dostęp do taniej energii nastąpi w krótszym okresie. W konsekwencji można będzie np. obniżyć jednostkowy koszt przetwarzania odpadów, co spowoduje wzrost konkurencyjności przedsiębiorstwa.

4. Podsumowanie

Koncepcja reaktora kompaktowego, wykorzystywanego do produkcji gazu można uznać za innowacyjną w kontekście:

po pierwsze – budowy reaktora,

po drugie – sposobu działania reaktora,

po trzecie – opracowania zasad doboru urządzenia wraz z opisem parametrów pozwalających przeprowadzić wiarygodną ocenę techniczno-ekonomiczną (OTE) w zależności od oczekiwanego efektu ekonomicznego.

Innowacyjność w obszarze konstrukcji reaktora. W reaktorze będą wydzielone dwie komory w układzie kaskadowym, to znaczy komora niższa tzw. robocza, wypełniona fermentującym materiałem i powyżej komora pełniąca jednocześnie funkcję dystrybucji wsadu oraz gromadzenia i odprowadzania gazu. Obie komory będą rozdzielone przegrodą poziomą zawierającą otwory technologiczne umożliwiające przesypywanie wsadu do komory dolnej oraz swobodną migrację biogazu, jak również zabezpieczające podajnik przed nadmiernym gromadzeniem się części wsadu w okolicy ścian reaktora. Urządzeniami służącymi do poziomego i „pionowego” (ok. 60°) przemieszczania wsadu w obrębie reaktora będą dwa podajniki ślimakowe, przy czym jeden z nich (poziomy) będzie wykonany w wersji umożliwiającej pracę rewersyjną. Użycie tego typu podajnika umożliwi alternatywnie załadunek komory roboczej lub wspomaganie mieszania wsadu. Zastosowanie wewnątrz reaktora podajników ślimakowych wynika z ich niezawodności w przypadku transportowania mediów zawierających części stałe. Do regulacji przepływu masy w trakcie pracy reaktora, związanej z jego załadunkiem, mieszaniem i rozładunkiem, służyć będzie kłapa odcinająca dopływ surowca z leja zasypowego oraz kłapa dwustawna do zmiany kierunku przepływu wsadu. W zależności od położenia klapy dwustawnej będzie uzyskany efekt mieszania wsadu lub rozładunku reaktora. Wymaganą wartość temperatury wsadu w trakcie fermentacji zapewni system podgrzewania dwustopniowego. Pierwszy stopień będzie polegał na doprowadzeniu i rozdeszczowaniu wody podgrzanej do temperatury ok. 50°C, bezpośrednio do leja zasypowego. Drugi stopień podgrzewu, będzie wiązał się z zastosowaniem płaszcza wodnego w wybranych przegrodach zlokalizowanych w komorze roboczej reaktora.

Innowacyjność w obszarze działania reaktora. Wykorzystywane do kompozycji wsadu składniki będą gromadzone w leju zasypowym, który poza funkcją załadowczą będzie miejscem wstępnego przygotowania wsadu związanego z jego podgrzewaniem i zwiększeniem zawartości wody. Po otwarciu zasuwy, świeży wsad z leja zasypowego, pod wpływem grawitacji, przemieści się do górnej komory reaktora, skąd zostanie odebrany poziomym podajnikiem ślimakowym do komory roboczej. Zakończenie załadunku tej komory, skorelowane z pracą podajnika pionowego i położeniem klapy dwustawnej, rozpocznie przemieszczanie wsadu w reaktorze w trybie cyrkulacji wewnętrznej. Ilość masy usuwanej

i doprowadzanej do reaktora będą zbliżone, przy czym faza wyładunku będzie poprzedzała czas załadunku. Praca poszczególnych urządzeń w trybie cyrkulacji wewnętrznej będzie służyła efektywnemu wymieszaniu świeżej masy z masą wpracowaną spełniającą funkcję *inoculum*. Ponadto, mieszanie fermentujących odpadów sprzyja skutecznemu uwalnianiu powstającego w całej objętości gazu i przemieszczaniu się go do komory górnej, skąd zostanie odprowadzony na zewnątrz. Przepływ masy będzie również związany z szybszym przejmowaniem ciepła z powierzchni przegród pełniących rolę wymiennika płytowego. Stabilizacja temperatury w trakcie fermentacji jest jednym z podstawowych warunków prawidłowego przebiegu procesu. Utrzymanie stałej temperatury będzie wymagało uzyskania równowagi termodynamicznej układu wynikającej z bilansu energetycznego. Zastosowanie dwustopniowego podgrzewania wsadu, umożliwi płynną regulację temperatury wewnątrz reaktora w zależności od czynników zewnętrznych związanych z właściwościami fizycznymi surowca i warunkami atmosferycznymi.

Innowacyjność w obszarze zastosowania reaktora. Istotą koncepcji stworzenia reaktora kompaktowego jest zastosowanie fermentacji metanowej w skali „mikro”. Oznacza to, zwiększenie możliwości aplikacji procesu fermentacji polegającej na przykład na wykorzystaniu tej technologii do produkcji energii wyłącznie na potrzeby własne zakładu, w oparciu de facto o niewielką część frakcji organicznej wydzielanej na stopniu mechanicznym ZUO. W tym aspekcie, jest to nowatorska koncepcja, ponieważ jej założeniem nie jest w istocie opracowanie rozwiązania alternatywnego w stosunku do innych metod przekształcania frakcji organicznej, lecz rozwiązanie mogące funkcjonować równolegle, stanowiące przede wszystkim ekonomicznie uzasadnione uzupełnienie technologii zakładu. Ograniczenie w tym przypadku wielkości instalacji fermentacji, do deklarowanej lub dostępnej ilości surowca, uzasadniać będzie wybór reaktora kompaktowego odpowiednio wyposażonego i dopasowanego do skali produkcji.

Literatura

1. **Braber K.:** *Anaerobic digestion of municipal solid waste: a modern waste disposal option on the verge of breakthrough*. B&B No. 9, 365–379 (1995).
2. **Szyszkowski P.:** *Energetyczne wykorzystanie odpadów ulegających biodegradacji*. Materiały konferencyjne. www.cieplej.pl/index_artykuly
3. **Rosik-Dulewska Cz.:** *Biotechnologie w gospodarce odpadami organicznymi*. Zeszyty Naukowe WBiłŚ PK, Nr 23, 47–60 (2007).
4. **Murphy J.D., McKeogh E.:** *Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste*. Renewable Energy 29, 1043–1057 (2004).
5. **Jędrzak A.:** *Fermentacja metanowa. Miejsce w systemie gospodarki odpadami komunalnymi*. Zeszyty Naukowe Politechniki Zielonogórskiej Nr 9, 53–63 (2000).
6. **Jędrzak A.:** *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. PWN, 2007.
7. **Sidelko R., Seweryn K.:** *Ocena potencjału energetycznego frakcji organicznej odpadów komunalnych poddanej procesowi fermentacji metanowej*. Gaz, Woda i Tech. San., Nr 1, 36–38 (2013).
8. **Khalid A., et al.:** *The anaerobic digestion of solid organic waste*. Waste Management 31, 1734–1744 (2011).

Application of Compact Reactor for Methane Fermentation of Municipal Waste

Abstract

The concept of construction and operation of the compact biological reactor designed to methane fermentation conventionally referred to the organic fraction extracted from municipal waste is reserved in a patent application (UP no. 398238). Presented idea can be defined as innovative in the context of first, construction related directly to the type of machinery responsible for the conduct of individual processes integrated with the bioreactor which is the essence of the complementary device. The second, course of action based on the implementation processes of the vaccination, handling, mixing, heating, and removal of the mass during fermentation process. Thirdly, develop principles of selection of the device with a description of the parameters to make a reliable technical-economic assessment depending on the desired effect in terms of the quantity of biogas and consequently the electricity production.