

Karina Michalska¹, Anna Pazera², Marcin Bizukojć²

¹Instytut Włókiennictwa, Łódź; ²Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź,

INNOWACJE DLA BRANŻY MLECZARSKIEJ – BIOGAZOWNIE PRZYKŁADOWE

Streszczenie

Przemysł mleczarski od wielu lat boryka się z problemem odpadów organicznych z procesów produkcyjnych (głównie serwatka) oraz wysokoobciążonymi ściekami. Jest to jedna z wielu przyczyn upadku tego typu przedsiębiorstw. ze względu na wysokie opłaty za zrzut takich zanieczyszczeń do kanalizacji czy oczyszczalni ścieków. Przyszłość przemysłu mleczarskiego w Polsce w znacznej mierze zależy od rozwiązania tego typu problemów. Autorzy proponują innowacyjne rozwiązanie w postaci mikroelektrowni biogazowej, działającej dzięki wykorzystaniu strumieni odpadów wytwarzanych przez zakład mleczarski. Taka instalacja pozwala na wytworzenie energii odnawialnej dla potrzeb firmy oraz na inne potrzeby lokalnej społeczności

Słowa kluczowe

zakład mleczarski, odpady organiczne, biogazownia, biogaz, metan

Wstęp

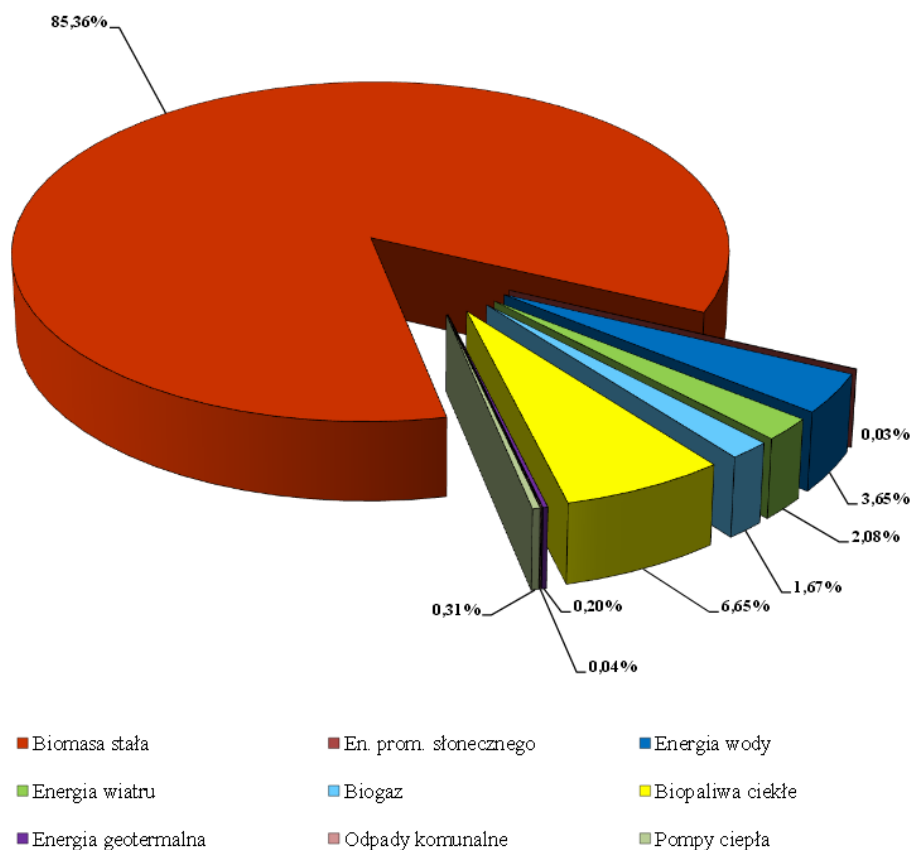
Przemysł mleczarski od wielu lat boryka się z problemem zagospodarowania generowanych w procesie produkcyjnym odpadów organicznych. Jest to jedna z głównych przyczyn upadku wielu firm tej branży, zwłaszcza w odniesieniu do jakości ścieków zrzucanych do gminnych lub miejskich oczyszczalni. Obciążenia finansowe związane z przekraczaniem wskaźnikami zanieczyszczeń w ściekach (głównie dotyczy to związków azotu), stawiają zakłady mleczarskie na granicy opłacalności funkcjonowania. Podobnie duża energochłonność produkcji – zwłaszcza w sezonie letnim, gdy wymagane jest chłodzenie instalacji – znacznie podnosi koszty utrzymania przedsiębiorstwa, co również staje się dla zakładu ogromnym problemem.

Przyszłość branży mleczarskiej w Polsce zależy zatem od rozwiązania obu tych wspomnianych wyżej problemów. Obecnie producenci sektora mleczarskiego skupiają się na obniżeniu kosztów wyłącznie po jednej stronie, budując choćby przykładowe, tlenowe oczyszczalnie ścieków, pozostawiając problem energochłonności produkcji nierozwiązanym. Niemniej jednak istnieje sposób na to, by obie kluczowe potrzeby zakładów mleczarskich zaspokoić; co więcej proponowane rozwiązanie umożliwia zagospodarowanie odpadów organicznych innych niż ścieki, na terenie zakładu, poprzez rozbudowę istniejącego ciągu technologicznego o kilka nowych elementów. Tym innowacyjnym rozwiązaniem jest przykładowa mikroinstalacja biogazowa, działająca na bazie surowców organicznych dostarczanych przez przedsiębiorstwo i generująca energię na jego własne, lokalne potrzeby.

Bioreaktory beztlenowe, o których mowa, traktowane być powinny w dwojaki sposób: zarówno jako mikroelektrownia generująca znaczne ilości energii cieplnej i/lub elektrycznej, a także jako system zagospodarowania odpadów poprodukcyjnych. Słowo „biogazownia” traci tu na znaczeniu, albowiem funkcja użytkowa instalacji zostaje rozszerzona o dodatkowy aspekt: unieszkodliwianie odpadów. Proponowane rozwiązanie znajduje już szerokie zastosowanie choćby w Szwecji – kraju słynącego z troski o środowisko przyrodnicze i znacznej konsumpcji energii ze źródeł odnawialnych (OZE) [1]. O tym, czy znajdzie zastosowanie i w Polsce, zadecydują choćby przedsiębiorstwa mleczarskie, dla których jest nie tylko ogromną szansą na rozwój, ale również na podniesienie poziomu konkurencyjności na rynku.

Biogaz i fermentacja metanowa

W ostatnich latach w Polsce wyraźnie wzrosło zainteresowanie procesem fermentacji metanowej. Biogaz pozyskany w tym procesie należy do odnawialnych źródeł energii (OZE), które cieszą się dużym poparciem Unii Europejskiej. Polityka UE w zakresie OZE ściśle związana jest ze światową strategią przeciwdziałania zmianom klimatycznym oraz zmniejszania emisji CO₂ i innych gazów cieplarnianych do atmosfery. Niestety nadal w bilansie energetycznym kraju biogaz stanowi marginalny udział, choć z tendencją wzrostową (rys. 1). Przyczyn takiego stanu jest wiele, zaczynając od kwestii finansowych, poprzez przepisy, kończąc na aspektach społecznych. Z tego powodu istotnym czynnikiem jest edukacja i promocja pozyskiwania energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu z biomasy jako ważnego elementu polskiej gospodarki.



Rys. 1 Udział nośników energii odnawialnej w łącznym pozyskaniu energii ze źródeł odnawialnych w 2010 r.

źródło: www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/se_energia_zrodla_odnawialne_2010.pdf

O dużym zainteresowaniu procesem fermentacji metanowej zdecydowały przede wszystkim jej zalety w porównaniu z metodami tlenowymi. Jako główne, wymienia się:

- przekształcanie energii zawartej w płodach rolnych i innych odpadach przemysłu spożywczego w użyteczne paliwo (biogaz);
- recykling odpadów organicznych w stabilne polepszacze gleby, cenny płynny nawóz i energię;
- obniżenie niekorzystnego oddziaływania na środowisko [2];
- oszczędności energetyczne związane z mniejszym zapotrzebowaniem na energię urządzeń służących do wytwarzania biogazu;
- około 6 do 10 razy mniejsza produkcja osadów nadmiernych, które nie tracą swojej biologicznej aktywności nawet po długim okresie przechowywania;
- możliwość pracy urządzeń przy wysokich obciążeniach hydraulicznych oraz wysokich obciążeniach substancjami organicznymi [3].

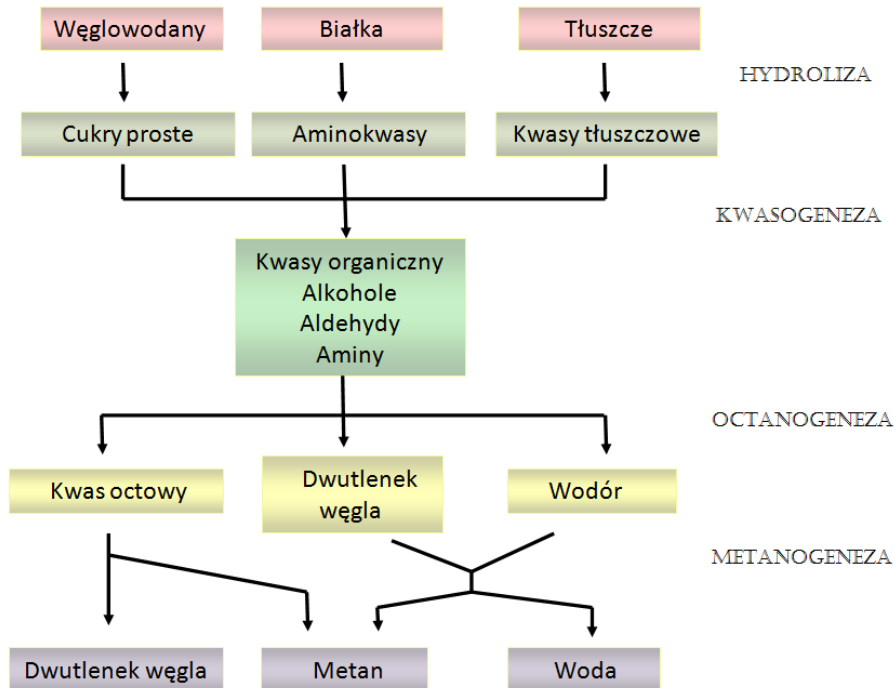
Technologie prowadzenia procesu fermentacji metanowej są intensywnie rozwijane, wiele firm wprowadza własne, innowacyjne modyfikacje sposobu i warunków prowadzenia procesu, by uczynić go bardziej efektywnym i opłacalnym. Obecnie fermentacja metanowa jest stosowana w czterech sektorach przerobu odpadów:

- osadów powstających podczas aerobowego oczyszczania ścieków miejskich,
- odpadów rolnych (gnojowicy),
- ścieków z przemysłu spożywczego i fermentacyjnego,
- przerobu organicznej frakcji stałych odpadów komunalnych [3].

Fermentacja metanowa jest złożonym procesem biochemicznym. Substancja organiczna zbudowana jest z wielkocząsteczkowych składników: białek, tłuszczów, węglowodanów, które w wyniku ścisłej współpracy

różnych grup bakterii (hydrolizujące, fermentujące, acetogenne, homoacetogenne, redukujące siarczany i metanogenne) ulegają rozkładowi do prostych związków chemicznych. Głównymi produktami takiego rozkładu są metan (CH_4) i dwutlenek węgla (CO_2).

Cechą charakterystyczną przemian substancji organicznych w komorach fermentacyjnych jest to, że są to przemiany beztlenowe. Każdy etap charakteryzuje się określonymi szybkościami przemian, warunkami fizykochemicznymi oraz biochemicznymi. Współzależność przemian pokazana jest na rys. 2.



Rys. 2 Schemat procesu fermentacji metanowej

źródło: A. Kacprzak, K. Michalska, J. Felczak, "Technologie biogazowe" w monografii „Mikrotechnologie biogazowe jako innowacyjne narzędzie stymulowania rozwoju lokalnego. Perspektywy aplikacyjne w województwie łódzkim”, PAN, Oddział w Łodzi, 2012.

- **Faza I hydrolityczna (hydroliza)** – obejmuje ona rozkład związków organicznych (białka, węglowodany, tłuszcze), przy udziale zewnątrzkomórkowych enzymów. Białka ulegają hydrolizie do aminokwasów, wielocukry do cukrów prostych, tłuszcze do alkoholi wielowodorotlenowych i kwasów tłuszczowych.
- **Faza II acidogenna (kwasogeneza)** – rozkład produktów hydrolizy i przetwarzanie ich do krótkołańcuchowych kwasów organicznych (w 76%) do lotnych kwasów tłuszczowych (mrówkowy, octowy, propionowy, masłowy, walerianowy, kapronowy), do alkoholi (etanolu, propanolu, butanolu a także dioli), aldehydów i ketonów (aldehyd octowy, aceton, acetoina) oraz produktów gazowych CO_2 i H_2 . Reszta produktów jest biodegradowana do octanów (ok. 20%). Mikroorganizmy prowadzące kwasogenezę należą do względnych i bezwzględnych beztlenowców z rodzaju *Aerobacter*, *Clostridium*, *Escherichia*, *Streptococcus*, *Micrococcus*.
- **Faza III acetogenna (octanogeneza)** – podczas której następuje przetwarzanie etanolu oraz lotnych kwasów tłuszczowych do octanów oraz CO_2 i H_2O . Przemiana ta prowadzona jest przez bakterie acetogenne z rodzaju *Syntrophobacter* i *Syntrophomonas*. Czas namnażania ich komórek jest długi (84 godz.), dlatego może decydować o przebiegu biodegradacji. Produktami ich aktywności metabolicznej są wodór i kwas octowy. Zahamowanie aktywności tych bakterii prowadzi do akumulacji innych lotnych kwasów organicznych, a w konsekwencji do obniżenia odczynu pH. Wówczas ujawniają swoją działalność bakterie homoacetogenne, produkujące octany z ze związków organicznych, ale nie wydzielające wodoru (wewnątrzkomórkowo on powstaje w wyniku redukcji CO_2 nośnikami wodoru), umożliwiając lepszy rozwój bakterii acetogennych i metanogennych.
- **Faza IV metanogenna (metanogeneza)** – produkcja metanu (ok. 2/3 powstaje z octanów oraz dwutlenku węgla i wodoru) przy udziale bakterii metanowych z rodzaju *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanogenium* oraz *Methanosarcina*. Mikroorganizmy te są bardzo czułe na zmiany temperatur i odczynu.

Proces produkcji biogazu wymaga kontroli określonych warunków prowadzenia procesu, tj. utrzymania stałej temperatury, zapewnienie niezbędnych składników pokarmowych, stałego odczynu pH (6,5-7,5) i ciągłości procesu oraz zapewnienia warunków beztlenowych [4]. Optymalne zakresy temperatur, w zakresie produkcji biogazu przedstawiają się następująco [5]:

- 20-25°C zakres aktywności bakterii psychrofilnych;
- 35-37°C zakres aktywności bakterii mezofilnych;
- 55-60°C zakres aktywności bakterii termofilnych.

Każdy rodzaj bakterii biorących udział w fermentacji metanowej wymaga innej temperatury prowadzenia procesu. Przekroczenie zakresu temperatur może prowadzić do zahamowania wzrostu.

Kolejnym ważnym czynnikiem wpływającym na stabilność procesu produkcji metanu jest neutralny odczyn pH. Optymalny odczyn pH dla bakterii hydrolizujących i kwasotwórczych zawiera się w przedziale 4,5÷6,3, natomiast w przypadku bakterii produkujących kwas octowy i metan odczyn pH mieści się w przedziale 6,8÷7,5. W innych warunkach wartości odczynu pH aktywność tych bakterii znacząco maleje [6].

Istotnym elementem jest zapewnienie bakteriom niezbędnych do życia składników pokarmowych i śladowych pierwiastków tj.: żelazo, nikiel, kobalt, selen, molibden i wolfram. Na stabilny przebieg procesu fermentacji metanowej wpływa stosunek C/N podłoża. Zbyt wysoki stosunek może prowadzić do niepełnej przemiany węgla, a w konsekwencji do zmniejszonej produkcji biogazu. Nadmiar zawartości azotu wpływa na wzrost szkodliwego dla procesu amoniaku. Optymalny stosunek C/N powinien kształtować się na poziomie 10÷30.

Wymieszanie zapewnia dobry kontakt bakterii i podłoża. Brak mieszania może doprowadzić do rozwarstwienia fermentującego substratu oraz powstania warstwy utrudniającej przepuszczanie gazów.

Z kolei inhibitory działają toksycznie na bakterie i zakłócają proces rozkładu. Można je podzielić na:

- substancje szkodliwe wprowadzone bezpośrednio z substratem np. związki mineralne (w tym również metale ciężkie), jak i związki pochodzenia organicznego, głównie pestycydy, antybiotyki i substancje powierzchniowo czynne;
- produkty pośrednie procesu fermentacji (amoniak i siarkowodór, a także wodór szkodliwy dla bakterii acetogennych).

Toksyczność tych związków jest zależna od stężenia, jakie osiągają, a także od wartości pH. Hamujące działanie na mikroorganizmy ma stężenie w przypadku amoniaku od 0,15 g/l, a siarkowodoru powyżej 0,05 g/l.

Podsumowując, biogaz jest gazem powstającym w wyniku fermentacji beztlenowej związków pochodzenia organicznego, np. biomasy, odchodów zwierzęcych, odpadów przemysłu rolno-spożywczego, osadów ściekowych, biodegradowalnych stałych odpadów komunalnych.

Głównym składnikiem biogazu jest metan, najprostszy węglowodór nasycony. Drugim składnikiem biogazu pod względem ilościowym jest dwutlenek węgla, będący bezbarwnym, bezwonnym i niepalnym gazem. Biogaz zawiera również siarkowodór. Jego ilość jest bezpośrednio uzależniona od rodzaju wykorzystywanego substratu. Z biomasy pochodzenia roślinnego wydzielają się bardzo małe ilości H₂S, natomiast fermentacja odpadów białkowych i melasy powoduje wzrost jego zawartości do 3%. W biogazie znajdują się także śladowe ilości azotu, pary wodnej, tlenu i wodoru. Tabela 1 przedstawia procentową zawartość poszczególnych składników biogazu.

Tabela 1. Podstawowa zawartość składników biogazu [7].

Składnik	Zawartość	
	Zakres (%)	Średnio (%)
Metan	42-85	65
Dwutlenek węgla	14-48	34,8
Siarkowodór	0,08-5,5	0,2
Wodór	0-5	Substancja śladowa
Tlenek węgla	0-2,1	Substancja śladowa
Azot	0,6-7,5	Substancja śladowa
Tlen	0-1	Substancja śladowa

Biogaz będąc doskonałym paliwem odnawialnym, może być wykorzystywany na wiele sposobów, podobnie jak gaz ziemny. Z 1 kg substancji organicznej otrzymuje się ok. 0,4 m³ biogazu o wartości opałowej 16,8-23 MJ/m³. Energia zawarta w 1 m³ takiego biogazu odpowiada energii zawartej w 0,93 m³ gazu ziemnego, w 1 dm³ oleju napędowego, 1,25 kg węgla lub odpowiada 9,4 kWh energii elektrycznej [8].

Otrzymany w procesie fermentacji biogaz może zostać zagospodarowany na różne sposoby:

- do produkcji energii elektrycznej w silnikach iskrowych lub turbinach;
- do produkcji energii cieplnej w przystosowanych kotłach gazowych;
- do produkcji energii elektrycznej i cieplnej w jednostkach skojarzonych;
- dostarczanie uzdatnionego biometanu do sieci gazowej;
- wykorzystanie gazu jako paliwa do silników trakcyjnych;
- wykorzystanie gazu w procesach technologicznych.

Produkcja biogazu z odpadów z branży mleczarskiej

Branża mleczarska – jak już wcześniej wspomniano – generuje całe spektrum odpadów organicznych. Znaczną część z nich można wykorzystać na cele energetyczne, rozwiązując tym samym problem ich unieszkodliwiania i ponoszonych w związku z nim dodatkowych kosztów. W zależności od rodzajów odpadów powstających w cyklu produkcyjnym zakładu zastosowane technologie obróbki odpadów mogą się znacznie różnić. Optymalizacja wydajności procesu, a więc maksymalizacja produkcji biogazu i zawartości metanu w biogazie, uzależniona będzie od wzajemnych proporcji wykorzystywanych surowców odpadowych i ich całkowitej objętości przypadającej na objętość bioreaktora.

Najczęściej powstającym odpadem ciekłym w mleczarniach są różnego rodzaju ścieki. Szacunkowo ich ilość stanowi nawet do 90% wody wykorzystywanej w przedsiębiorstwach mleczarskich [9]. Największą uciążliwością i największym ładunkiem zanieczyszczeń charakteryzują się ścieki pochodzące z mycia i czyszczenia urządzeń ciągu technologicznego, gdyż, poza obecnością surfaktantów, w ich składzie zaobserwować można również serwatkę, mleko czy pozostałości serów. Ścieki takie zawierają znaczne ilości białek, tłuszczu i cukrów, są bogate w związki azotu pochodzenia białkowego oraz wapni. Wysoka wartość wskaźnika ChZT (3500-6000 mg O₂/dm³), a BZT₅ na poziomie około 3000 mg O₂/dm³ wskazywać by mogła na stosunkowo łatwą biodegradowalność ścieków, co jednak nie do końca jest prawdą, głównie z uwagi na obecność detergentów anionowych i niejonowych, będących inhibitorami procesów biologicznego oczyszczania ścieków. W przypadku procesów beztlenowych wykorzystujących ścieki mleczarskie jako jedyny substrat do produkcji biogazu, fermentacja metanowa zostaje zakłócona i zahamowana niemal natychmiast. Stąd też w technologiach biogazowych dla zakładów branży mleczarskiej zalecana jest kofermentacja odpadów, a więc wykorzystanie więcej niż jednego substratu do produkcji energii.

Kofermentacja odpadów mleczarskich nie powinna stanowić dla przedsiębiorstwa większego problemu, gdyż obok ścieków w procesie produkcyjnym powstają inne odpady organiczne będące doskonałymi surowcami dla procesów produkcji biogazu. Jednym z nich jest serwatka, produkt uboczny produkcji serów, twarogów i kazeiny. W zależności od stosowanej w zakładzie technologii obróbki mleka powstawać może serwatka kwaśna, słodka i kazeinowa, różniące się między sobą głównie odczynem pH. Serwatka charakteryzuje się ekstremalnie wysoką wartością wskaźnika ChZT (około 50000 mg O₂/dm³) i azotu (azot Kjeldahla (N_{og}) 600 mg N/dm³, azot azotanowy (N-NO₃⁻) 2,5 mg/dm³, N-NH₄⁺ 60 mg/dm³). Mimo zatem wysokiego potencjału biogazowego, szacowanego na 55 m³/t [10], nie zaleca się wykorzystywania serwatki jako jedynego substratu w procesie fermentacji metanowej, głównie z uwagi na zbyt niski stosunek C/N wymagany dla prawidłowego przebiegu procesu.

Trzecim, istotnym z punktu widzenia surowców dla przyzakładowych biogazowni odpadem organicznym powstającym na terenie mleczarni, jest odpadowy tłuszcz. Ten rodzaj odpadu powstaje zwłaszcza w przedsiębiorstwach posiadających własne oczyszczalnie ścieków wyposażone w tłuszczowniki (flotatory). Jest to właściwie zanieczyszczone masło, a więc odpadowy tłuszcz mleczny, charakteryzujący się jednym z najwyższych potencjałów biogazowych (około 800-1100 m³/t) [11]. Nie mniej jednak również i ten odpad nie jest pożądanym w przypadku fermentacji jednosubstratowej. Po pierwsze dlatego, iż fermentacja tłuszczów przebiega bardzo długo, a więc wymagane są ogromne objętości bioreaktorów, po drugie pożądanym stosunek C/N jest w takim przypadku znacznie wyższy od optymalnego.

Ostatnim z najczęściej występujących w zakładach mleczarskich odpadów organicznych są osady ściekowe z istniejących, przyzakładowych, tlenowych oczyszczalni ścieków. Są to najczęściej osady nadmierne, złożone z biomasy mikroorganizmów nadmiernie przyrastającej w komorach osadu czynnego. Mikroorganizmy tlenowe namnażają się wielokrotnie szybciej niż formy beztlenowe, wobec czego występuje konieczność ich regularnego usuwania z osadników. Najczęściej osady – po wcześniejszym odwodnieniu i stabilizacji tlenowej – deponuje się na tzw. lagunach [12]. Jest to jednak kłopotliwe rozwiązanie w przypadku gdy przedsiębiorstwo nie dysponuje wolną powierzchnią gruntów z przeznaczeniem na laguny. Wariant bardziej optymalny – coraz chętniej wykorzystywany właśnie przy dużych oczyszczalniach ścieków – to zagospodarowanie tych osadów w fermentorze do produkcji biogazu.

Przedstawiona powyżej krótka charakterystyka czterech najczęściej spotykanych rodzajów odpadów organicznych generowanych w przedsiębiorstwach mleczarskich powinna skłaniać właścicieli zakładów do podjęcia radykalnych zmian w gospodarowaniu tymi odpadami, z ukierunkowaniem na wykorzystanie ich jako kosubstratów w procesie fermentacji metanowej. O tym, iż jest to technologia rentowna i pożyteczna dla przedsiębiorstw powinny świadczyć poniżej przytoczone wyniki prac eksperymentalnych.

Produkcja biogazu z odpadów z branży mleczarskiej – badania własne

Efektywność produkcji biogazu z organicznych odpadów mleczarskich badano z wykorzystaniem metody BMP (*Biochemical Methane Potential*). W badaniach wykorzystano następujące rodzaje odpadów:

- ścieki poprodukcyjne;
- serwatka kwaśna;
- tłuszcz odpadowy;
- osad nadmierny z bioreaktora tlenowego.

Odpady te pozyskano z zakładu mleczarskiego zlokalizowanego w woj. łódzkim. Badania prowadzono w skali laboratoryjnej, w temperaturze 37°C, pod ciśnieniem atmosferycznym. W badaniach jako inokulum wykorzystano osad przefermentowany z instalacji WKF w Grupowej Oczyszczalni Ścieków w Łodzi. Jako substrat w procesie fermentacji metanowej wykorzystano mieszaniny odpadów w różnych proporcjach i o różnym składzie. Dobową produkcję biogazu określano z wykorzystaniem metody wyporu roztworu solanki przez produkowany biogaz. Skład powstałego biogazu określano za pomocą chromatografii gazowej. Stanowisko badawcze przedstawiono na rys. 3.

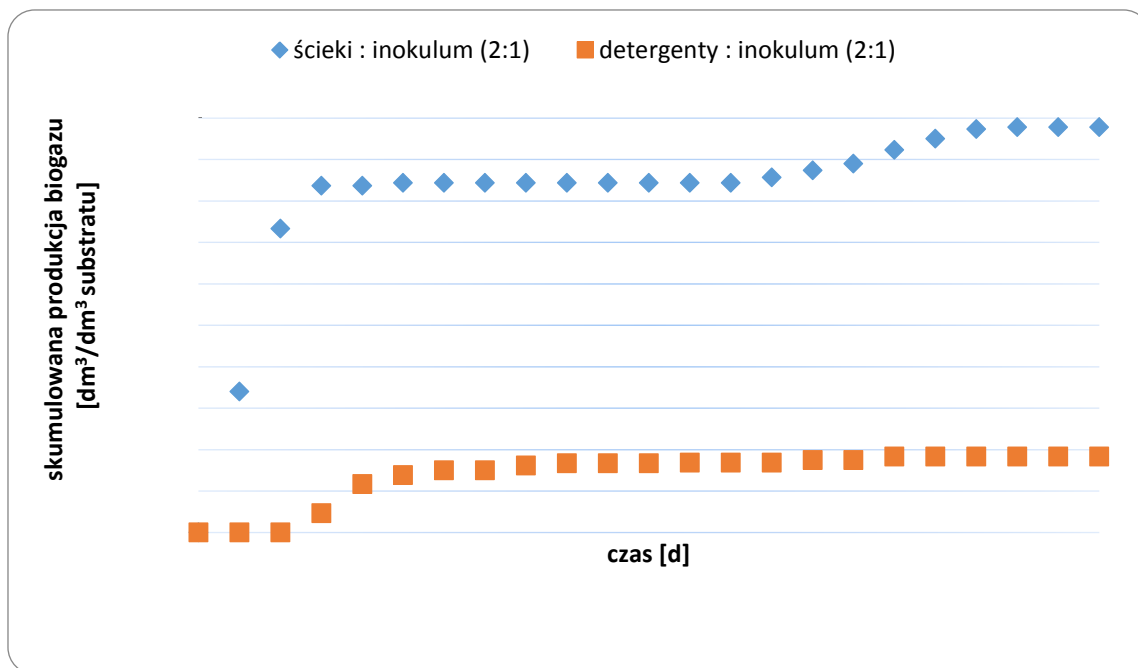
Celem prowadzonych badań było określenie wpływu wzajemnych proporcji wykorzystywanych w procesie kosubstratów na wydajność produkcji biogazu oraz określenie wpływu proporcji substrat : inokulum na wydajność produkcji biogazu. Uzyskane wyniki pozwalają określić przybliżoną moc przykładowej mikroelektrowni biogazowej oraz wielkość reaktora beztlenowego.



Rys. 3. Stanowisko badawcze do analiz BMP (Biochemical Methane Potential)

Źródło: materiały własne

W pierwszym etapie badań określono wydajność fermentacji metanowej z wykorzystaniem ścieków jako jedyne substratu. Dodatkowo w celach porównawczych zbadano wpływ detergentów obecnych w ściekach na efektywność produkcji biogazu. Roztwór detergentów sporządzono zgodnie z recepturą kąpieli myjącej wykorzystywanej w przedsiębiorstwie, z którego pozyskiwano próbki odpadów i na bazie stosowanych przez to przedsiębiorstwo środków powierzchniowo - czynnych. Wyniki badań eksperymentalnych przedstawiono na rys. 4.

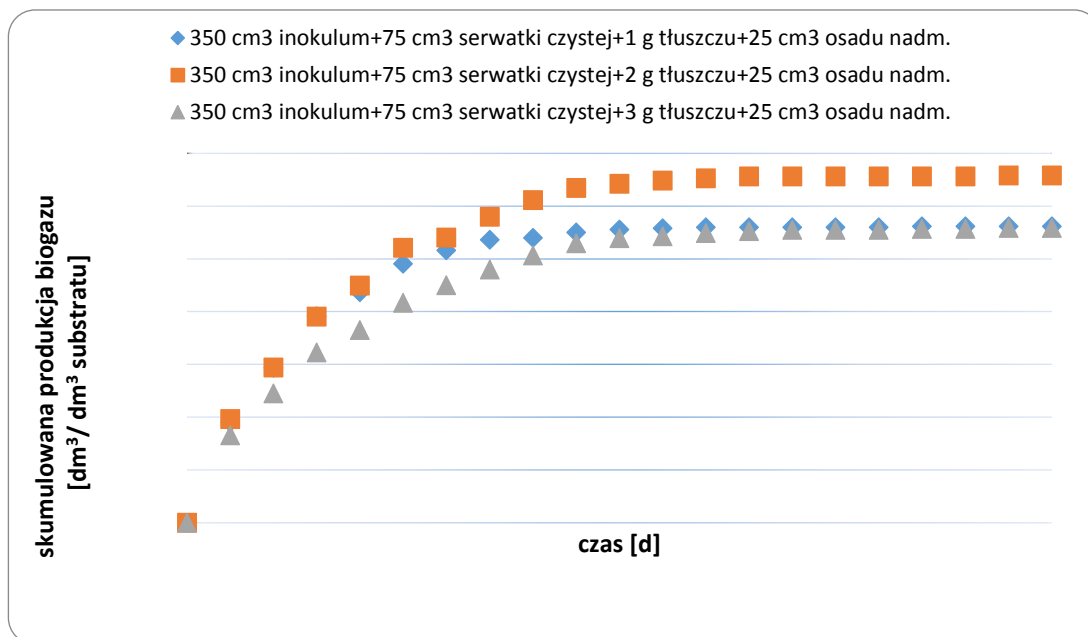


Rys. 4. Produkcja biogazu z wykorzystaniem roztworu detergentów oraz ścieków mleczarskich.
Źródło: materiały własne

Analiza otrzymanych wyników badań wskazuje na silną toksyczność stosowanych w zakładzie detergentów w odniesieniu do mikroorganizmów fermentacyjnych. Produkcja biogazu zahamowana została w zasadzie już po czterech dobach prowadzenia procesu. Jak pokazano na rys. 4 obecność detergentów w ściekach ma kluczowe znaczenie dla wydajności procesu fermentacji metanowej. Produkcja biogazu jest widocznie inhibitowana, a zawartość metanu na poziomie 36% zdecydowanie wyklucza stosowanie takiego wariantu fermentacji. Zasadnym wydają się w takiej sytuacji dwa warianty kofermentacji:

- kofermentacja z wykorzystaniem pozostałych odpadów organicznych z wyłączeniem ścieków;
- kofermentacja z wszystkich odpadów organicznych, łącznie ze ściekami, w celu ich maksymalnego rozcieńczenia.

W kolejnym etapie badań eksperymentalnych określano wpływ wzajemnych proporcji kosubstratów na wydajność produkcji biogazu. W eksperymentach nie wykorzystywano ścieków, jako substratu potencjalnie niebezpiecznego dla procesu fermentacji metanowej (wariant pierwszy rozwiązania). W badaniach objętość stosowanej w procesie serwatki i osadu nadmiernego pozostawała bez zmian, manipulowano natomiast ilością dodawanego tłuszczu odpadowego. Wyniki badań przedstawia rys. 5.



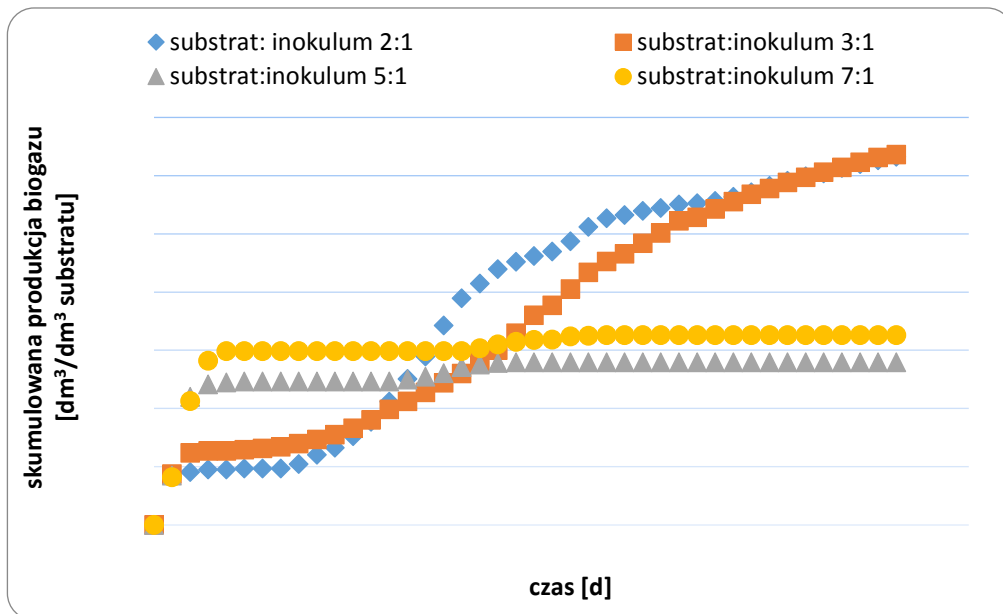
Rys. 5. Produkcja biogazu przy różnych proporcjach stosowanych kosubstratów.
 Źródło: materiały własne

Analiza otrzymanych danych eksperymentalnych wskazuje na dość znaczący wpływ ilości dodawanego tłuszczu odpadowego na wydajność produkcji biogazu, co jest zgodne z literaturą [12]. Przy braku ścieków jako kosubstratu to właśnie tłuszcz jest podstawowym źródłem węgla organicznego dla bakterii fermentacyjnych. Jego nadmiar jak i niedomiar w stosunku do pozostałych kosubstratów spowalnia szybkość procesu oraz zmniejsza wydajność produkcji biogazu. W optymalnym przypadku (2 g tłuszczu na 100 cm³ mieszanki serwatki i osadu nadmiernego) zawartość metanu w biogazie przekraczała 68%. Taki sposób prowadzenia fermentacji metanowej na bazie odpadów mleczarskich staje się już zatem ekonomicznie uzasadniony i warty rozważenia.

Ostatnim etapem badań eksperymentalnych było ustalenie optymalnego stosunku kosubstratów do inokulum w aspekcie maksymalizacji produkcji biogazu przy jednoczesnej minimalizacji wielkości bioreaktora. W tym etapie badań wykorzystano wariant drugi kofermentacji, z wykorzystaniem ścieków poprodukcyjnych. Z uwagi na fakt, iż w przedsiębiorstwach mleczarskich objętość generowanych ścieków i serwatki znacznie przekracza objętości powstającego tłuszczu odpadowego i osadu nadmiernego, a z założenia zasadniczym celem budowy przykładowej mikroelektrowni biogazowej jest racjonalna gospodarka odpadami, przyjęto, iż optymalny skład mieszanki kosubstratów to:

- ścieki + serwatka w stosunku 1:1 (90% mieszanki);
- tłuszcz i osad nadmierny w stosunku 1:1 (10% mieszanki).

W badaniach skład mieszanki pozostawał nie zmieniony, zmieniano wyłącznie proporcje pomiędzy mieszanką a wykorzystywanym inokulum. Uzyskane wyniki eksperymentalne przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Produkcja biogazu przy różnych proporcjach kosubstratów do inokulum.
Źródło: materiały własne

Analiza otrzymanych wyników wskazuje na duży wpływ zastosowanej proporcji objętości substratu do inokulum na wydajność produkcji biogazu. Przy największych proporcjach (5:1 i 7:1) zaobserwowano wyraźne zahamowanie procesu, co wiąże się ze zbyt wysokim obciążeniem komór fermentacyjnych ładunkiem zanieczyszczeń. Mniejsze obciążenie komór skutkowało znacznym wzrostem wydajności produkcji biogazu przy jednoczesnym wzroście ilości metanu w otrzymywanym biogazie (72% i 75% dla stosunku substrat : inokulum 2:1 i 3:1, odpowiednio). Kluczowym zatem dla procesu staje się odpowiedni i właściwy dobór proporcji substratu do inokulum, od niego bowiem zależy opłacalność całej inwestycji.

Choć przedstawione na rys. 6 wyniki wskazują na nieco wyższą produkcję biogazu w przypadku zastosowania proporcji 3:1 w porównaniu z proporcją 2:1, należy mieć na uwadze dodatkowy aspekt: maksymalny udział metanu w produkowanym biogazie nastąpił dla proporcji 2:1 już po 12 dobach, natomiast dla proporcji 3:1 dopiero po 34 dobach. Niewiele większa produkcja biogazu przy wyborze wariantu 3:1 negatywnie wpłynie na wielkość mikroelektrowni, z uwagi na wymagany długi czas zatrzymania substratu (HRT – *Hydraulic Retention Time*). W takim wypadku rozsądny jest wybór proporcji 2:1, mimo nieco niższej produkcji biogazu, a więc energii, ponoszone bowiem koszty z tytułu inwestycji i eksploatacji wariantu 3:1 mogą okazać się większe niż przychody z nadwyżki wyprodukowanej energii.

Dodatkowym aspektem przemawiającym za wyborem wariantu z proporcją substrat : inokulum 2:1 jest znaczne obniżenie wartości wskaźnika ChZT mieszaniny substratu po procesie fermentacji metanowej (50% dla wariantu 2:1 i jedynie 24% dla wariantu 3:1). Jest to istotne z punktu widzenia inwestora, gdyż substrat po procesie traktowany jest jak ścieki i należy go poddać oczyszczeniu w warunkach tlenowych. Im niższa wartość wskaźnika ChZT na wlocie do komór osadu czynnego, tym mniej energii zużywa układ do napowietrzania tych komór. Tym samym energochłonność przykładowej instalacji do tlenowego oczyszczania ścieków będzie tym mniejsza, im większy ładunek zanieczyszczeń zostanie zdegradowany w mikroinstalacji biogazowej.

Kluczową dla potencjalnego przedsiębiorcy inwestującego w instalację biogazową na terenie własnej mleczarni jest ilość wyprodukowanej energii. Przyjmując za optymalny wariant z proporcją substratu : inokulum 2:1 zysk energetyczny z biogazu wyniesie 0,07 MJ energii z porcji substratu o objętości nieco ponad 600 cm³. To mikroskopijne ilości substratu, biorąc pod uwagę rzeczywistą skalę produkcji odpadów w przedsiębiorstwach, bo jeśli przyjąć że do fermentora wprowadzać będziemy substrat w ilościach nie 600 cm³, a 600 dm³ to ilość energii wyprodukowanej z biogazu wzrośnie do 70 MJ, czyli około 5,5 kWh.

Powyższe przykłady eksperymentalne wskazują na ogromny potencjał energetyczny odpadów mleczarskich. Ich racjonalne zbywanie w elektrowniach przykładowych ukierunkowanych na produkcję biogazu zaspokaja dwie kluczowe potrzeby przedsiębiorstw branży mleczarskiej: obniżenie kosztów ponoszonych z tytułu unieszkodliwiania odpadów oraz niezależność energetyczną zakładu. W przypadku tej drugiej koszty zamienić mogą się w zysk. Jeśli bowiem ilość produkowanej w mikroinstalacji energii przewyższać będzie zapotrzebowanie zakładu na ciepło bądź energię elektryczną, ich naddatek przedsiębiorca może sprzedać lokalnym odbiorcom. To z kolei powinno przełożyć się na wzrost konkurencyjności firmy na lokalnym rynku,

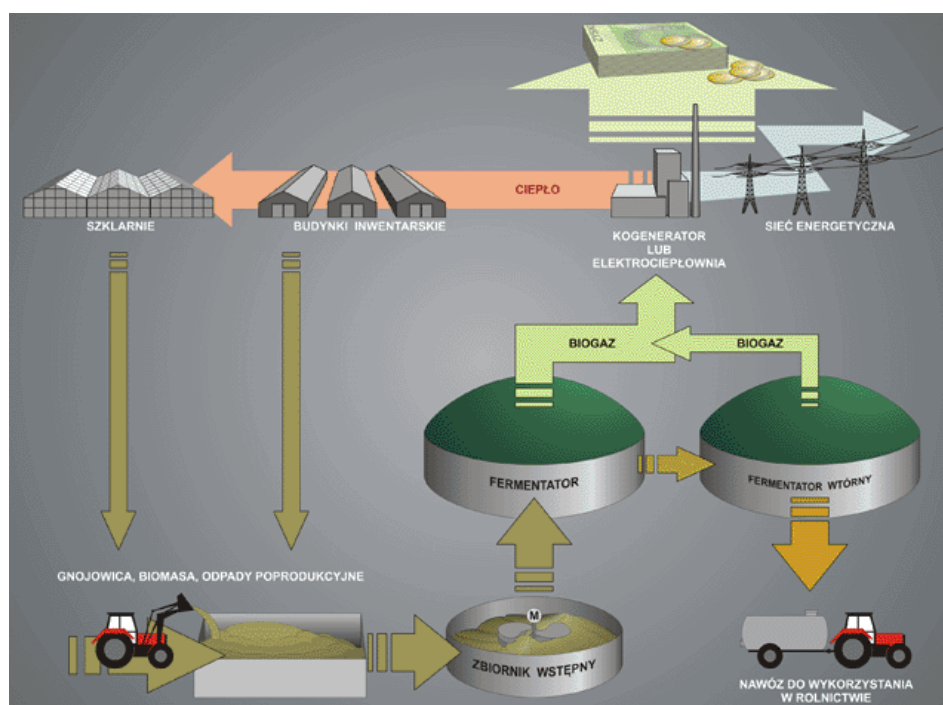
a więc na wzrost sprzedaży. Zyski z takiej instalacji można rozpatrywać nie tylko w kategoriach finansowych, ale i prestiżowych, co powinno okazać się bodźcem do działań dla przedsiębiorstw.

Bioreaktory do produkcji biogazu z odpadów branży mleczarskiej

Instalacja do produkcji biogazu, jak każda inna instalacja, składa się z kilku elementów. W zależności od stopnia zaawansowania technologii i oczekiwanej wydajności procesu fermentacji metanowej, część elementów jest pomijana lub zastępowana innymi. Nie mniej jednak każda elektrownia biogazowa, bez względu na rodzaj stosowanego substratu, wyposażona jest w kilka podstawowych komponentów. Są to:

- zbiorniki wstępne na odpady (zbiorniki magazynujące);
- fermentory przykryte szczelną membraną;
- zbiorniki pofermentacyjne lub laguny;
- układy do konwersji biogazu w energię cieplną i/lub elektryczną (układy kogeneracyjne, piece, turbiny);
- system sterujący;
- podłączenia do sieci ciepłej i/lub energetycznej;
- pochodnia awaryjna.

Świadomość tego, jak bardzo rozbudowany może być układ technologiczny takiej instalacji jest niezwykle pożyteczna. Każdy przedsiębiorca podejmujący decyzję o budowie mikroelektrowni biogazowej na terenie swojego zakładu musi liczyć się z koniecznością zapewnienia odpowiedniej infrastruktury oraz areału pod budowę instalacji. Dla biogazowni dużych, o mocy 2 MW, zapotrzebowanie na teren wynosi zazwyczaj około 3 ha [13]; w przypadku mikroinstalacji przykładowych ta powierzchnia będzie proporcjonalnie mniejsza. Schemat najprostszej instalacji biogazowej przedstawiono na rys. 7.



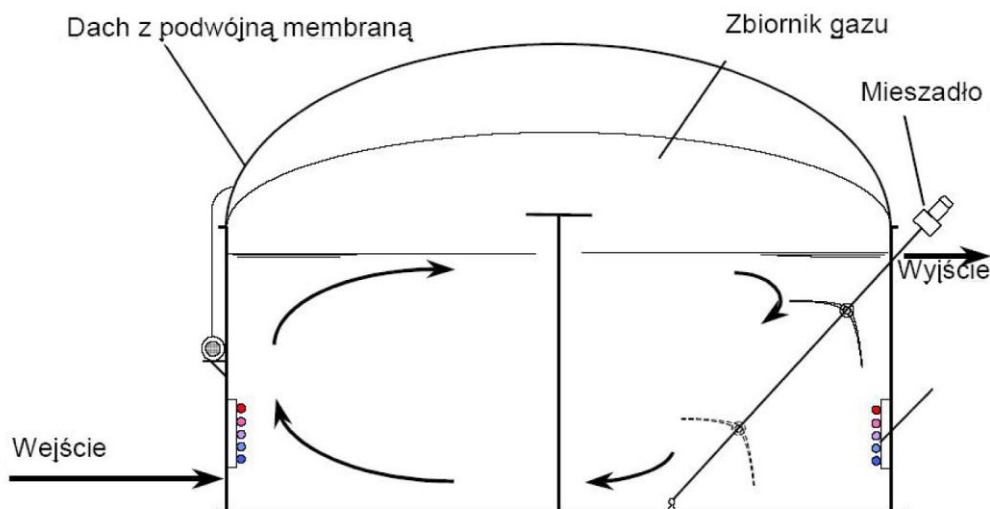
Rys. 7. Uproszczony schemat instalacji mikrobiogazowej.

Źródło: <http://www.mutaq.pl/page16.php>

Podstawowym i obowiązkowym elementem każdej instalacji biogazowej jest zbiornik fermentacyjny, a więc bioreaktor beztlenowy. W zależności od rodzaju i uwodnienia stosowanych w instalacji odpadów oraz zastosowanej technologii zbiornik ten charakteryzował się będzie innym kształtem, powierzchnią, wyposażeniem dodatkowym i sposobem działania. Najpowszechniej stosowanym, zwłaszcza w rolnictwie, jest zbiornik pionowy o kształcie walca (rys. 8), wyposażony w mieszadła o różnej konstrukcji. Taki bioreaktor nazywany jest reaktorem z pełnym wymieszaniem (CSTR – *Continuous Stirred Tank Reactor*) i stosowany jest głównie do fermentacji odpadów płynnych, o zawartości suchej masy (s.m.) od 8 do 12%.

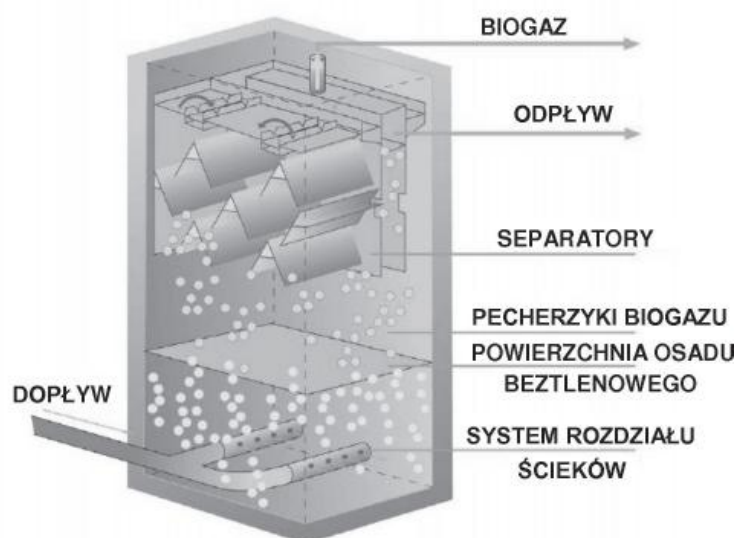
Bioreaktory typu CSTR to komory zbudowane ze stali lub betonu, przy czym beton stosuje się do budowy dna, natomiast stal do ścian. Zbiorniki tego typu mogą być częściowo lub całkowicie wbudowane w podłoże lub też – co jest częściej praktykowane – stawiane są bezpośrednio na powierzchni gruntu. Cały zbiornik pokrywa się

gazoszczelną membraną, uniemożliwiającą odpływ wyprodukowanego biogazu do atmosfery. Zawartość zbiornika jest intensywnie mieszana, co pozwala na bezpośredni kontakt między mikroorganizmami a substratem organicznym [14].



Rys. 8. Typowy fermentor.
 Źródło: http://rener.pl/?page_id=611

Bioreaktory typu CSTR znajdują zastosowanie w przypadku odpadów branży mleczarskiej, jednakże pewnym ograniczeniem dla ich wykorzystania może okazać się w tym przypadku dość wysoki czas zatrzymania odpadów (HRT). Zatrzymanie na długi okres odpadów, zwłaszcza tych generowanych dobowo w znacznych ilościach i wysoko obciążonych ładunkiem zanieczyszczeń, może skutkować koniecznością budowy zbiornika fermentacyjnego o ekstremalnie dużej objętości. To z kolei oznacza wysokie koszty inwestycyjne, eksploatacyjne i zwiększenie zapotrzebowania na powierzchnię pod inwestycję. Dodatkowo, przy stałej produkcji odpadów również i zbiorniki wstępne muszą charakteryzować się większą pojemnością. W związku z powyższym rozwiązaniem dedykowanym zwłaszcza dla mikroelektrowni biogazowych przeznaczonych na odpady mleczarskie staje się inny typ bioreaktora, a mianowicie reaktor typu UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) (rys. 9).



Rys. 9. Bioreaktor typu UASB.
 Źródło: M.Szyprowska, P. Wichowski, P. Stępień, *Badania procesów beztlenowego oczyszczania ścieków na przykładzie ścieków z przemysłu farmaceutycznego*, w *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 7*, PAN, Oddział w Krakowie, 2011, ss.155-168.

Reaktor UASB to reaktor przepływowy ze złożem biomasy w formie granulowanej, zawieszonym w przestrzeni zbiornika. Bioreaktor taki składa się z dwóch części: przepływowej oraz sedymentacyjnej, dzięki czemu możliwe jest odprowadzanie sklarowanych odcieków z fermentora bez wymywania żywej biomasy. Substrat przepływa przez reaktor z dołu do góry, a zlokalizowane w górnej części zbiornika separatory zapewniają rozdzielanie fazy stałej i ciekłej od gazowej. Co istotne – w reaktorach tego typu czas zatrzymania osadu (SRT – *Sludge Retention Time*) jest dużo wyższy niż w konwencjonalnych reaktorach typu CSTR (w nich $HRT=SRT$). Dzięki temu szybkość usuwania mikroorganizmów fermentacyjnych jest dużo niższa niż szybkość ich wzrostu, co istotnie podnosi wydajność produkcji biogazu i pozwala na obniżenie HRT a co za tym idzie na nawet kilkukrotne zmniejszenie objętości reaktora, w porównaniu ze zbiornikiem typu CSTR [14,15].

Reaktory typu UASB znakomicie sprawdzają się w przypadku zastosowań do odpadów branży mleczarskiej, gdzie wymagany HRT zapewniający wydajną produkcję biogazu przekracza 10 dni. Pomimo podstawowej wady – długiego okresu wpracowywania – cieszą się coraz większą popularnością. Należy jednak mieć na uwadze jeden fakt, a mianowicie ostrożnie dawkować do ich wnętrza wszelkiego rodzaju tłuszcze. Zbyt duża ich ilość może uniemożliwić swobodny przepływ substratu w górę bioreaktora, jak również stanowić barierę pomiędzy mikroorganizmami a dopływającym substratem. Właściwe prowadzenie procesu fermentacji powinno takie niebezpieczeństwo zniwelować i skutkować efektywną produkcją biogazu.

Przykłady instalacji

Biogazownia w Chodzieży (woj. wielkopolskie, powiat chodzieski)

1 lutego 2012 Okręgowa Spółdzielnia Mleczarska z Czarnkowa wybudowała nowoczesną biogazownię w swoim zakładzie produkcyjnym w Chodzieży pozwalającą na ekologiczne pozbywanie się odpadów produkcyjnych i generowanie biogazu (rys. 10). OSM Czarnków należy do czołowych producentów artykułów mleczarskich w Polsce posiadającym najnowszy park maszynowy oraz 100 proc. kapitału polskiego. Spółdzielnia posiada dwa zakłady produkcyjne w Czarnkowie i Chodzieży całkowicie dostosowane do obecnych wymogów UE. Spółdzielnia skupuje i przetwarza rocznie ponad 60 mln litrów mleka, które pochodzi z ponad 600 gospodarstw rolnych. Dotychczas w okresie wzmożonej produkcji mleczarnia produkowała dużo pozostałości po przerobie mleka i duże ilości zwykłych ścieków. Teraz z nich produkowany jest biogaz, który mleczarnia wykorzystuje na własne potrzeby. Zakłady tej spółdzielni mleczarskiej zużywają około 6 000 m³ gazu na dobę, z tego gazownia może dostarczyć prawie połowę - 3 000 m³ Biogazownia dziennie może przerobić do 500 m³ ścieków oraz dodatkowo do 100 m³ kwaśnej serwatki [17]. Produktem końcowym jest gaz oraz oczyszczone ścieki, które mogą być bez szkody dla środowiska wprowadzone do obiegu przyrodniczego.

W przypadku tej biogazowni to nie gaz był celem, a pełne oczyszczenie ścieków serwatkowych powstających przy produkcji mleczarskiej. Ta nowatorska i skierowana w przyszłość inwestycja, a nie nastawiona na zysk, pozwala na lepsze wykorzystanie mocy przerobowych i uniezależnia produkcję od odbioru serwatki przez rolników przy jednoczesnej dbałości o środowisko [16]. Biogazownia w Chodzieży kosztowała ponad 7,5 mln zł i została dofinansowana w wysokości 3,2 mln zł z funduszy UE w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich[18].



Rys. 10. Biogazownia w OSM Czarnków

Źródło: <http://chodziez.naszemiasto.pl/tag/biogazownia-osm-czarnkow.html>

Biogazownia w Siedliszkach (woj. lubelskie, gm. Piaski).

Jedną z pierwszych biogazowni w południowo-wschodniej Polsce jest instalacja w Siedliszkach zlokalizowana w pobliżu spółdzielni mleczarskiej OSM Piaski, z której pobiera substrat potrzebny do produkcji biogazu (rys. 11). Od lutego 2012 roku biogazownia działa z pełną mocą wytwarzając 23,9 MWh energii elektrycznej na dobę [19]. Poza serwatką do produkcji biogazu wykorzystywana jest siewczka kukurydziana skupowana od okolicznych rolników. Biogaz produkowany jest w dwóch zbiornikach fermentacyjnych oraz jednym pofermentacyjnym. Następnie spalany jest w generatorach o mocy 1 MW. Ciepło trafia do Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej Piaski, a odbiorcą energii elektrycznej jest Polska Grupa Energetyczna. Dodatkowo, bogata w azot ciecz pofermentacyjna jest doskonałym nawozem wykorzystywanym przez rolników. Biogazownia w Siedliszkach jest dobrym przykładem współpracy z zakładem mleczarskim dostarczającym tani substrat.



Rys. 11. Biogazownia w Siedliszkach

Źródło: <http://www.bpp.lublin.pl/news1/fot/11.10.07/03.jpg>

Biogazownia w SM Mlekovita (woj. podlaskie, powiat wysokomazowiecki)

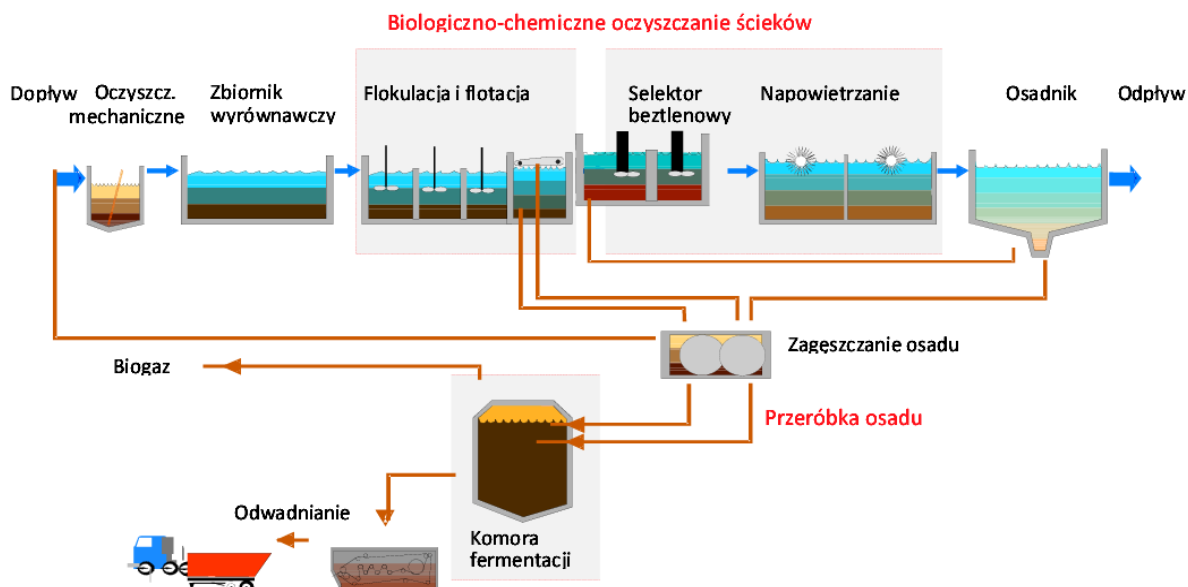
Największe firmy z sektora przetwórstwa rolno-spożywczego w Polsce zaczynają inwestować w biogazownie. Mlekovita, numer jeden w branży mleczarskiej w naszym kraju, zakończyła w tym roku modernizację i rozbudowę oczyszczalni ścieków przy swej głównej mleczarni w Wysokim Mazowieckiem. W efekcie na terenie oczyszczalni powstała biogazownia o mocy 1,6 MW, rysunek 12 [20]. W ramach modernizacji do

wstępnego podczyszczania strumienia ścieków mleczarskich o przepływie 5 000 m³/d i ładunku ChZT 30 000 kg O₂/d został zastosowany proces flotacji ciśnieniowej. Powstające w procesie flotacji osady wraz z osadem nadmiernym z procesu osadu czynnego i serwatką odpadową kierowane są do nowej instalacji fermentacji osadów - reaktora Biobulk (rys. 13) [21]. W procesie fermentacji produkowany jest biogaz. Biogaz jest wykorzystywany jako paliwo w agregatach kogeneracyjnych do produkcji energii. Wyprodukowana energia elektryczna wykorzystywana jest na potrzeby własne oczyszczalni ścieków, zaś jej nadwyżki kierowane są do sieci energetycznej. Energia cieplna wykorzystywana jest w technologii oczyszczania oraz do ogrzewania budynków administracyjnych i technologicznych. Dzięki zastosowanemu rozwiązaniu zmodernizowana oczyszczalnia ścieków zapewnia niezawodność i prostotę eksploatacyjną, a poprzez produkcję biogazu - zysk z produkcji energii elektrycznej i ciepła.



Rys. 12. Instalacja do beztlenowego oczyszczania ścieków w SM Mlekovita

Źródło: <http://www.bpp.lublin.pl/news1/fot/11.10.07/03.jpg>



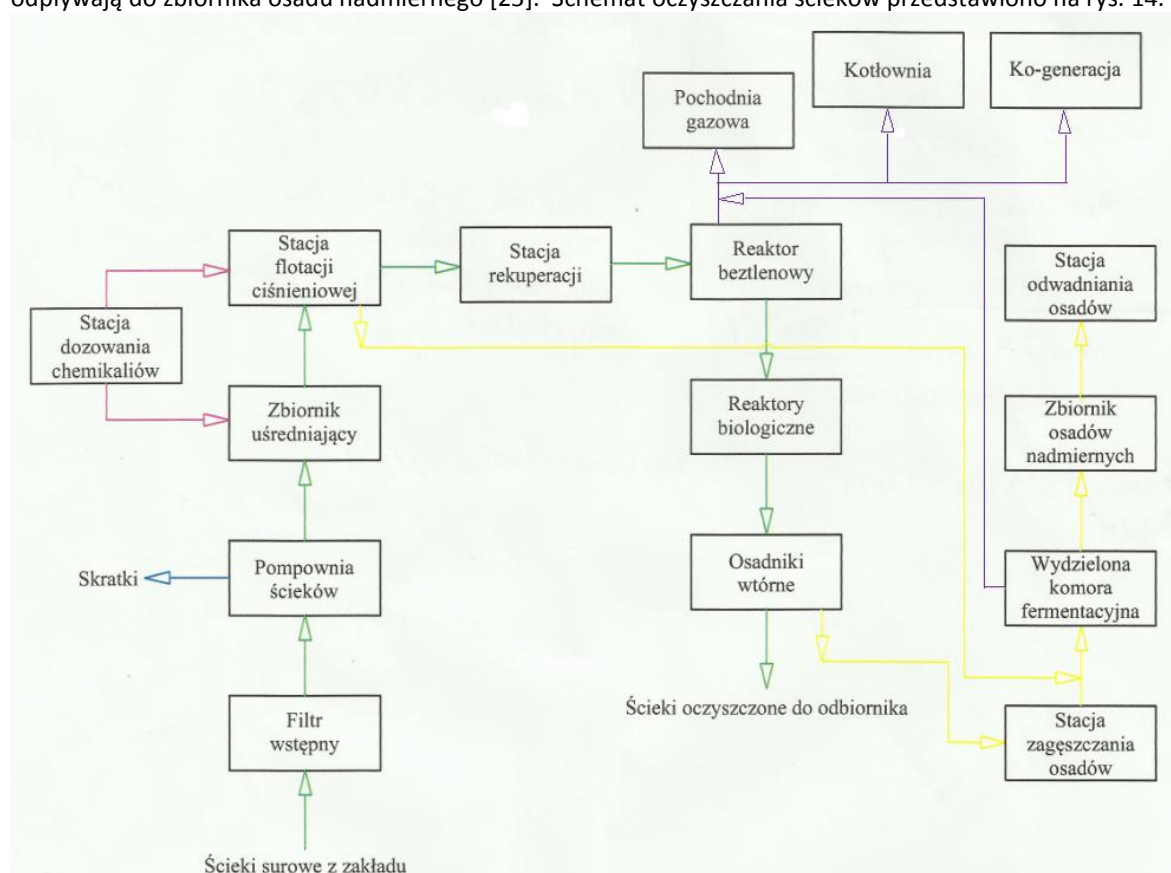
Rys. 13. Schemat tlenowo- beztlenowego oczyszczania ścieków w SM Mlekovita

Źródło: <http://www.bpp.lublin.pl/news1/fot/11.10.07/03.jpg>

Biogazownia w SM ROTR w Rypinie (woj. kujawsko - pomorskie, powiat rypiński)

Zwiększone moce przerobowe w Spółdzielni Mleczarskiej ROTR zdecydowały o konieczności rozbudowy oczyszczalni ścieków, która budowana według technologii z lat 60-tych była już przestarzała. Nowo wybudowany obiekt opiera się na nowoczesnych rozwiązaniach technologicznych. Ścieki są oczyszczane dwuetapowo, metodą beztlenowo-tlenową dającą gwarancję wysokiej wydajności oraz skuteczności oczyszczania ścieków. Dodatkowo, wybór takiej technologii umożliwia przyszłą rozbudowę oczyszczalni.

Zgodnie z założeniami etap beztlenowy zapewnia redukcję ładunków w ściekach przed skierowaniem ich na część tlenową [22]. W pierwszym etapie ścieki kierowane są na sito bębnowe, gdzie oddzielane są większe zanieczyszczenia. Następnie w zbiorniku wyrównawczo-uśredniającym są ujednocinane i kierowane do flokulatora, a następnie do flotatora. Tutaj zachodzi rozdział ścieków i zawartych w nich zawieszin. Ścieki z komory flotacji kierowane są do bloku oczyszczania beztlenowego. A powstały flotat kierowany jest do dalszej obróbki. Oczyszczanie beztlenowe zachodzi w reaktorze beztlenowym IC (*Internal Circulation*) składającym się z dwóch części: dolnej- wysoko obciążonej oraz górnej-nisko obciążonej (rys. 15). Wyróżniającą cechą tego bioreaktora jest uzyskiwanie biogazu na dwóch poziomach. Produkowany biogaz przepuszczany jest barbotażowo przez stos bioreaktora powodując mieszanie się oczyszczanych ścieków z granulkami osadu wywołując efekt tzw. podnośnika gazowego i dalsze zwiokrotnione powstawanie biogazu. W górnej części bioreaktora IC biogaz oddzielany jest od ścieków i przekazywany do systemu biogazu, natomiast podczyszczone ścieki kierowane są do dalszego - tlenowego oczyszczania. Reaktory biologiczne składają się z dwóch komór: mieszania i napowietrzania. Flotat ze stacji flotacji kierowany jest do wydzielonej komory fermentacji, do której trafia również osad nadmierny powstały wskutek oczyszczania tlenowego. W wydzielonej komorze fermentacji zachodzi proces fermentacji metanowej. Osady ściekowe po procesie fermentacji są ustabilizowane i odpływają do zbiornika osadu nadmiernego [25]. Schemat oczyszczania ścieków przedstawiono na rys. 14.



Rys. 14. Schemat blokowy oczyszczalni ścieków w SM ROTR w Rypinie

Źródło: www.afprojects.pl

Następnie osady okresowo trafiają do stacji odwadniania, a następnie na prasę i dalej do gospodarczego wykorzystania, na cele rolnicze (obecnie osady z oczyszczalni są higienizowane wapnem i odwadniane na wirówce, a potem przekazywane do dalszego zagospodarowania rolniczego). Powstający podczas fermentacji beztlenowej biogaz jest dostarczany rurociągiem do pochodni i tam spalany. Po przepracowaniu pełnego sezonu kiedy będzie można określić ilość i jakość produkowanego biogazu zostanie rozważona możliwość przetwarzania biogazu na energię elektryczną lub ciepłą [23]. Nowa oczyszczalnia jest w stanie przyjmować 1650 m³ ścieków/dobę. Surowe ścieki po przejściu przez wszystkie etapy procesu oczyszczania ostatecznie trafiają do rzeki Rypienicy.



Rys. 15. Zbiornik IC i zbiornik WKF w ROTR Rypin

Źródło: http://www.agro.e-bmp.pl/galeria_biq.php?nr_fo=5084&qal_nr=443

Biogazownia w Umeå, Szwecja (region Västerbotten, gmina Umeå)

Norrmejerier w Umeå jest pierwszą mleczarnią w Szwecji, która połączyła swój obieg produkcyjny z własną instalacją biogazową (rys. 16). W biogazowni ścieki z Mleczarni Umeå są oczyszczane razem z serwatką pochodzącą z Mleczarni Burträsk. Przetwarzanie tak dużych ilości serwatki stanowiło duży problem. Dlatego też po przestudiowaniu nowych technologii w mleczarniach w Niemczech, Szwajcarii i Belgii kadra zarządzająca w Norrmejerier zdecydowała o wykorzystaniu ultra-filtracji serwatki [24]. Przy zastosowaniu tej metody, większość białka z serwatki jest usuwana w wyniku filtracji [24]. Białka te są wartościowym surowcem w procesie wytwarzania nowych produktów żywnościowych. Z pozostałej części serwatki, ścieków i innych odpadów w procesie beztlenowym produkuje się biogaz. Skutkuje to niższym zużyciem ropy, emisją gazów cieplarnianych i kosztami transportu [25].



Rys. 16 Mleczarnia Norrmejerier w Umeå

źródło: <http://www.envirochemie.com>

Surowce z dwóch mleczarni (Umeå i Burträsk) przechodzą przez komorę hydrolizy (800 m^3), zanim są pompowane do bioreaktora. Następnie usuwane są tłuszcze w procesie separacji flotacyjnej, które później rozkładane są w dwóch oddzielnych mezofilnych reaktorach (35°C), każdy po 100 m^3 objętości. Pozostały materiał jest rozkładany w „procesie bezpośrednim” w dwóch reaktorach o łącznej objętości 5000 m^3 . Odcieki z osadu pofermentacyjnego są zwracane do bioreaktora (sedymentacja w odstojniku). Takie rozwiązanie pomaga utrzymać odpowiednie zagęszczenie bakterii w bioreaktorze i skrócić czas retencji (3,6 dnia) bez ryzyka strat w kulturach bakterii [24].

Łącznie w procesie fermentacji wytwarzane jest $35\ 000\text{ kWh}$ energii dziennie i $10\ 000\text{ MWh}$ biogazu w skali roku, z dodatkowymi 7000 MWh generowanymi przez pompy ciepła. Osad, który idzie do odstojnika po procesie fermentacji, jest następnie ochładzany w pompie ciepła do temperatury 15°C , a następnie składowany. Jest on później wykorzystywany do produkcji palet mułowych, materiału wypełniającego przy budowie dróg.

Biogazownia zmniejszyła roczną konsumpcję ropy przez Norrmejerier's o 2500 m^3 oraz zredukowała roczną emisję CO_2 o 9500 ton i tlenu azotu oraz dwutlenku siarki odpowiednio o $9,3$ i $3,9\text{ ton}$ [1,24].

Biogazownia w Wels, Austria (Land Górna Austria, powiat Wels - Land)

Dziś mleczarnia Berglandmilch jest jednym z wiodących producentów twarogu w Europie i liderem rynku produktów mlecznych w Austrii [26]. Każdego roku mleczarnia generuje ok. 50 mln litrów serwatki, którą wcześniej oddawała na cele paszowe. W 2004 roku postanowiono wykorzystać tę pozostałość jako źródło energii i zastąpić gaz ziemny biogazem. Pomimo wysokich kosztów inwestycyjnych (ok. 2 mln Euro) instalacja zwróciła się w ciągu 5 lat, gdyż mleczarnia zaoszczędziła na kosztach transportu serwatki, poza tym produkuje ponad jedną trzecią własnego zapotrzebowania na energię cieplną [27]. Dodatkowo dochodzi zysk ze sprzedaży zielonych certyfikatów za energię wprowadzaną do sieci elektrycznej. Biogazownia jest zaprojektowana tak, że każdego dnia do reaktora trafia około 180 000 l serwatki i 180 000 l wody procesowej. Oznacza to, że codziennie generowane jest do 12 MWh energii elektrycznej i 14 MWh energii cieplnej. Dzięki tej inwestycji, mleczarnia Berglandmilch trwale rozwiązała problem unieszkodliwiania serwatki. Dodatkowo okoliczni rolnicy otrzymują wysokiej jakości nawóz organiczny będący pozostałością po produkcji biogazu.



Rys. 17 Biogazownia przy mleczarni w Wels
źródło:

http://www.cogeneurope.eu/challenge/Downloadables/Best%20Practice%20factsheets/Austria/CC_BP%20Factsheet_biogas%20plant%20Landfrisch%20creamery.pdf

Podsumowanie

Przedstawione w rozdziale wyniki badań eksperymentalnych, jak i przykłady istniejących instalacji mikrobiogazowych dedykowanych przedsiębiorstwom mleczarskim w pełni uzasadniają wykorzystanie procesu fermentacji metanowej w celach racjonalnej gospodarki odpadami poprodukcyjnymi. Konkurencyjność tej metody zagospodarowania odpadów polega przede wszystkim na uzyskaniu dwóch wymiernych strumieni zysków przez zakład produkcyjny: oszczędności finansowych z tytułu samodzielnego przekształcania organicznych uciążliwości poprodukcyjnych oraz zysku energetycznego, z łatwością przekładającego się na dalszy zysk finansowy. Koncepcje rozwoju i rozbudowy takiej technologii o dalsze elementy zależą wyłącznie od postawionych przez przedsiębiorcę celów.

Podstawowym kryterium efektywności proponowanego rozwiązania jest, jak pokazano, odpowiedni dobór substratów, a więc wyselekcjonowanie z całego wolumenu odpadów takich pozostałości, które charakteryzują się znaczną wartością energetyczną i dość łatwo ulegają biodegradacji na drodze przemian beztlenowych. Dalszy rozwój koncepcji związany jest przede wszystkim z doбором odpowiedniej technologii i projektem samego bioreaktora, co ma bezpośredni związek z rodzajem substratu poddawanego fermentacji.

Przykłady zarówno z kraju jak i Europy pokazują, jak rentowna może być to inwestycja i jak wiele problemów może rozwiązać. Widać wyraźną ekspansję tego typu przedsięwzięć i wyraźne zainteresowanie technologiami biogazowymi przeznaczonymi do unieszkodliwiania odpadów organicznych. Ostrożne kalkulacje mówią o tym, że popyt na przykładowe mikroelektrownie biogazowe będzie stale wzrastać, z racji wzrastającego wciąż wolumenu produkowanych odpadów organicznych. Dla istniejących w Polsce mleczarni to ogromna szansa nie tylko na rozwój, ale i ekspansję poza rynki krajowe. Czas pokaże ile z nich tę szansę wykorzysta.

Publikacja powstała w ramach projektu „Naukowcy dla gospodarki województwa łódzkiego” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Bibliografia

- [1] K. Michalska, A. Kacprzak, Szwedzki model rozwoju innowacyjnych technologii biogazowych oparty na zarządzaniu odpadami, w: Acta Innovations, Nowy Paradygmat Innowacji Technologicznych, CBI Pro-Akademia, PAN, Łódź, 2013, ss. 39-70.
- [2] S. Ledakowicz, L. Krzystek, 2005. Wykorzystanie fermentacji metanowej w utylizacji odpadów przemysłu rolno-spożywczego. *Biotechnologia*, 3 (70) 165-183
- [3] A. Kacprzak, K. Michalska, Z. Romanowska-Duda, M. Grzesik, „Rośliny energetyczne jako cenny surowiec do produkcji biogazu”. *Kosmos* 61, 2 (295), 281-293.
- [4] A. Grzybek, „Możliwości i technologia produkcji biogazu rolniczego”, *Czysta energia*, nr 10(36), Poznań 2004, str. 36
- [5] E. Głodek, „Pozyskiwanie i energetyczne wykorzystanie biogazu rolniczego”, Wyd. Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Opole 2007, s.18-34
- [6] K. Miksch, J. Sikora, *Biotechnologia ścieków*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010.
- [7] L. Janecka, W. Kalinowski, A. Weszler, T. Garus, J. Kościanowski, „Pozyskiwanie i energetyczne wykorzystanie biogazu rolniczego”, Wydawnictwo Instytut Śląski, Opole 2007
- [8] W. M. Lewandowski, „Proekologiczne odnawialne źródła energii”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010
- [9] Z. Zander, F. Dajnowiec, *Gospodarka wodą w zakładzie mleczarskim*, *Agro Przemysł* 3 (2009) 50-52.
- [10] M. Jędrzejewska-Cicińska, K. Kozak, Przetwarzanie permeatów powstających podczas filtracji membranowej serwatki do paliw gazowych, *Przegląd Mleczarski* 1 (2007) 16-18.
- [11] J. Cebula, L. Latocha, Biogazownie rolnicze elementem gospodarczego wykorzystania pozostałości z produkcji rolniczej oraz rozwoju rozproszonej energetyki odnawialnej. *Materiały Seminarium Biogazownie rolnicze elementem gospodarczego wykorzystania pozostałości z produkcji rolniczej, ochrony środowiska naturalnego oraz rozwoju rozproszonej energetyki odnawialnej*, Mikołów, 2005.
- [12] M. Gazda, A. Rak, M. Sudak, Badania kofermentacji osadów ściekowych z tłuszczami odpadowymi w oczyszczalni ścieków w Brzegu, w *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 3, PAN, Oddział w Krakowie, 2012, ss.79-90.
- [13] A. Kacprzak, K. Michalska, J. Felczak, Technologie biogazowe, w *Mikrotechnologie biogazowe jako innowacyjne narzędzia stymulowania rozwoju lokalnego*, CBI Pro-Akademia, PAN, Łódź, 2012, ss. 42-68.
- [14] A. Jędrzak, *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, PWN, 2007.
- [15] P. Frassinetti, C. Catunda, A.C. van Haandel, Improved performance and increased applicability of waste stabilisation ponds by pretreatment in a UASB reaktor, *Water Science and Technology* 33(7) (1996) 147-156.
- [16] <http://www.forummleczarskie.pl/NEWS/2312/>
- [17] <http://www.farmer.pl/energia/oze/spoldzielnia-mleczarska-w-chodziezy-ma-biogazownie,34255.html>
- [18] <http://gramwzielone.pl/bioenergia/1246/nowa-biogazownia-w-wielkopolsce>
- [19] <http://ioze.pl/energetyka-biogazowa/aktualnosci/wikana-ma-dotacje-na-biogazownie-w-piaskach>
- [20] <http://chronymy klimat.pl/7-aktualnosci/15990-mlekovita-zainwestowala-w-biogazownie>
- [21] <http://www.veoliawaterst.pl/media/aktualnosci/2011-02-01,4153.htm>
- [22] A. Gajewska, Zwiększą produkcję z większą oczyszczalnią, *Agro przemysł*, 2012, Vol.3, 48-52.
- [23] <http://www.agro.e-bmp.pl/zwieksza-produkcje-z-wieksza-oczyszczalnia,5309,art.html>
- [24] J. Held, A. Mathiasson, A. Nylander, Raport: „Biogaz z nawozu i odpadów –szwedzkie stadium przypadku”, 2008 Sztokholm
- [25] www.afprojects.pl
- [26] <http://www.chp-goes-green.info/>
- [27] http://www.cogeneurope.eu/challenge/Downloadables/Best%20Practice%20factsheets/Austria/CC_BP%20Factsheet_biogas%20plant%20Landfrisch%20creamery.pdf

Abstract

Dairy industry has been grappling with the problem of organic waste generated in the production process for many years. It is one of the main reasons for the collapse of many companies in this industry, especially with regard to the quality of effluents discharged into sewage systems and treatment plants. The future of the dairy sector in Poland relies on the solutions of these problems. The authors of this article propose an innovative solution, which is an on-site micro-biogas plant installation. It is going to operate using organic waste materials supplied by the dairy company and generating energy for its own and local needs.

Key words

dairy factory, organic wastes, biogas plant, biogas, methane