

## **NOWOCZESNE TECHNOLOGIE ENERGETYCZNEGO WYKORZYSTANIA ODPADÓW POCHODZENIA ZWIERZĘCEGO**

**Piątek<sup>1</sup> Robert**

### **Abstrakt**

*Niniejsza praca jest wynikiem zaangażowaniu NILU Polska na rzecz aplikacji biogazowni rolniczych w Polsce. W pracy przedstawiono podstawowe informacje o fermentacji beztlenowej w kontekście rozwiązania problemu utylizacji odpadów organicznych oraz energetyki odnawialnej (biogaz). W oparciu o zebrane dane literaturowe nakreślono stan wdrożenia na świecie instalacji do produkcji biogazu z odpadów rolniczych. Zaprezentowano także budowę typowej biogazowni rolniczej oraz aktualne trendy rozwoju technologii biogazowych. Szczególną uwagę poświęcono nowoczesnym rozwiązaniom utylizacji biogazu opartym na ogniwach paliwowych. Zebrane doświadczenia z pierwszych wdrożeń w skali technicznej oraz intensywne prace nad doskonaleniem konstrukcji pozwalają oczekiwać obniżenia kosztów i popularyzacji implementacji powyższych rozwiązań w najbliższej przyszłości.*

### **1. Wprowadzenie**

Fermentacja beztlenowa jest przetestowaną na szeroką skalę i akceptowaną na świecie metodą biologicznego unieszkodliwiania odpadów organicznych z jednoczesną produkcją biogazu, będącego paliwem produkowanym z zasobów odnawialnych. Energetyka odnawialna, w tym także technologie energetycznej utylizacji biogazu, cieszy się dużym zainteresowaniem i znajduje się w fazie intensywnego rozwoju. Moda na energetykę odnawialną jest wynikiem sytuacji politycznej, licznych inicjatyw i zobowiązań międzynarodowych, np. [8, 14, 24]. U źródeł tych inicjatyw leżą problemy wyczerpywania zasobów nieodnawialnych źródeł energii (paliw kopalnych) oraz ochrony klimatu. W sposób bezpośredni dynamiczny rozwój technologii jest możliwy dzięki zwiększonym nakładom finansowym na ich wdrażanie. Sytuacja ta dotyczy także Polski, gdyż rozpowszechnianie energetyki odnawialnej jest zagwarantowane w przyjętym przez rząd celu strategicznym - do 2010 roku udział OZE w całkowitym bilansie energii pierwotnej ma wzrosnąć do poziomu 7.5% [22]. Osiągnięcie tego celu, mimo zwiększenia nakładów finansowych, nie będzie proste. Główne zasoby polskiej energetyki odnawialnej tkwią w biomasie – przede wszystkim w jej bezpośrednim spalaniu oraz zgazowaniu. Znaczenie w skali kraju mają także technologie biogazowe dotyczące składowisk odpadów oraz oczyszczalni ścieków. W pracy skoncentrowano się na rozwiązaniach mniejszej skali, tzw. biogazowniach rolniczych, które mimo marginalnego potencjału energetycznego w skali kraju, wnoszą wiele korzyści dla środowiska lokalnego. Sensowność aplikacji opisywanych rozwiązań uzasadnia ukonstytuowana prawnie potrzeba utylizacji odpadów.

### **2. Aspekty prawne**

Gospodarka odpadami jest jednym z ważniejszych obszarów zarządzania środowiskiem i jest ściśle obwarowana przepisami prawnymi. Najistotniejszym uregulowaniem dotyczącym fermentacji anaerobowej jest obowiązująca od 1 maja 2003 tzw. Dyrektywa ABP [21]. Odpady pozwierzęce (ABP – animal by-products) zostały podzielone na trzy kategorie ryzyka. Odpady kategorii I, do której należą m.in. SRM (materiały szczególnego ryzyka), zwierzęta z hodowli eksperymentalnych oraz resztki żywności z międzynarodowych środków komunikacji, nie mogą być utylizowane w klasycznych biogazowniach ze względu na ryzyko przenoszenia chorób typu TSE (ang. *transmissible spongiform encephalopathies* - zakaźne encefalopatie gąbczaste, np. BSE). Odpady kategorii II i III mogą być przeznaczone do utylizacji metodą fermentacji beztlenowej, przy czym dla HRM (materiał

---

<sup>1</sup> NILU Polska Sp. z o.o., 40-029 Katowice, ul. Reymonta 24

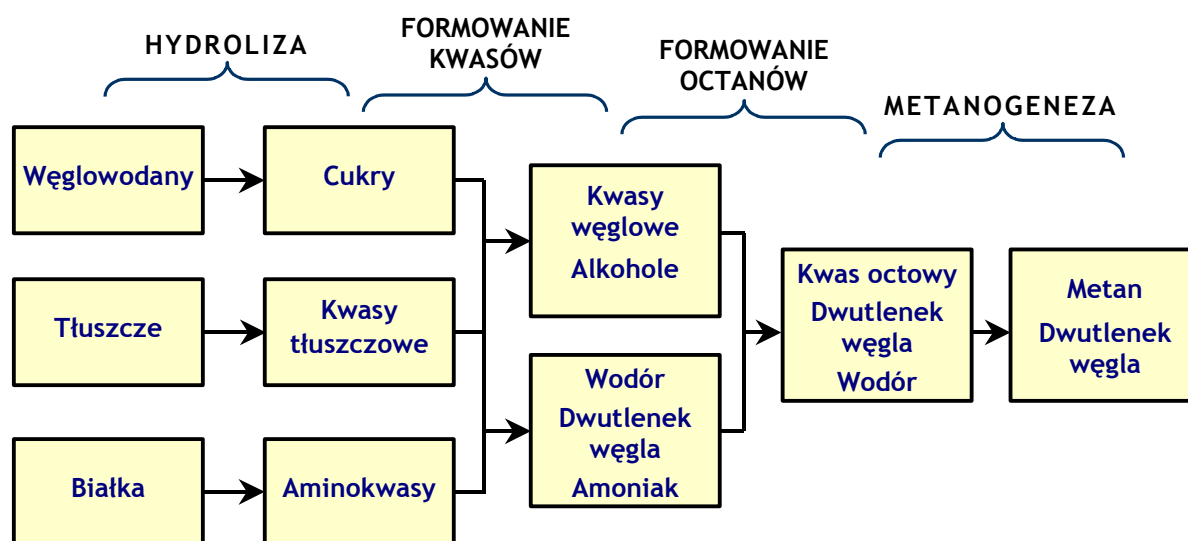
wysokiego ryzyka) zdefiniowano dodatkowe wymagania sterylizacji (co najmniej 20 min za pomocą pary o minimalnych parametrach 133°C i 0,3 MPa) bądź higienizacji (przez 60 minut w temperaturze 70°C) [12, 13, 21]. Wprowadzenie powyższych obostrzeń prawnych wpłynęło na zmniejszenie potencjału technicznego wykorzystania biodegradacji anaerobowej w stosunku do odpadów pochodzenia zwierzęcego z jednej strony poprzez zakaz utylizacji tą metodą odpadów I kategorii występujących np. w ubojniach, z drugiej strony wymóg sterylizacji zwiększa zapotrzebowania energii na potrzeby własne biogazowni. W zakładach produkcyjnych, w których występują odpady różnych kategorii (np. rzeźnie) wdrożenie dyrektywy ABP wprowadza liczne komplikacje w procesie zarządzania odpadami. We wspomnianej dyrektywie znajdują się także zapisy dotyczące zakazu wykorzystania dodatków z mączek mięsno-kostnych do pasz dla zwierząt oraz ograniczenia w bezpośrednim nawożeniu użytków rolnych gnojowicą. Te przepisy sprzyjają stosowaniu instalacji biogazowych, choć nie są poparte przesłankami ekonomicznymi. Produkcja mączek mięsno-kostnych jest bowiem procesem bardzo energochłonnym (ok. 6 GJ / Mg surowca) i biorąc pod uwagę skumulowane zużycie energii poddawanie mączki fermentacji nie wydaje się być uzasadnione. Rozwiązaniem może być wprowadzanie do bioreaktora papki mięsnej bezpośrednio po sterylizacji przeprowadzonej w zakładzie odtłuszczania zamiast mączki mięsno-kostnej. Pozwoliłoby to na zrezygnowanie z procesu suszenia wsadu, które konsumuje około 47% energii potrzebnej do wyprodukowania mączki [12].

### 3. Fermentacja beztlenowa

Biologiczna degradacja substancji organicznej w warunkach beztlenowych nosi nazwę fermentacji anaerobowej (beztlenowej). Produktem fermentacji jest biogaz – roztwór gazowy składający się z 50-70% CH<sub>4</sub>, 30-50% CO<sub>2</sub> i śladowych ilości pozostałych gazów (np. H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>) oraz przefermentowany osad o wysokim stopniu zmineralizowania. Na rys. 1 przedstawiono schematycznie główne etapy biodegradacji anaerobowej. Proces rozpoczyna się od hydrolizy wielkocząsteczkowych związków organicznych do rozpuszczalnych związków prostszych a następnie zachodzą dalsze przemiany produktów przejściowych do kwasu octowego, wodoru i dwutlenku węgla. Ostatnim etapem jest metanogeneza [2, 11, 15]. Proces metanogenezy może być realizowany przez różne szczepy bakterii w zależności od temperatury złoża. Można więc wyróżnić:

- fermentację psychrofilową zachodzącą w przedziale temperatur od 10 do 20°C,
- fermentację mezofilową przebiegającą w zakresie temperatur od 27 do 35°C,
- fermentację termofilową wywoływaną przez mikroorganizmy, których wzrost odbywa się w temperaturach między 50 a 60°C.

Fermentacja termofilowa zachodzi w sposób bardziej intensywny ale wymaga bardziej precyzyjnego sterowania gdyż bakterie te są bardziej wrażliwe na zmiany temperatury [17].



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie ważniejszych etapów procesu fermentacji anaerobowej [2]

Należy zauważyć, że fermentacja anaerobowa jako proces biologiczny zachodzi wszędzie tam gdzie spełnione są warunki dla rozwoju bakterii metanogennych – ograniczony dostęp tlenu i odpowiedni zakres temperatur. Fakt ten jest przyczyną znacznej niekontrolowanej emisji metanu i dwutlenku węgla do atmosfery wynikającej np. z nawożenia pól uprawnych obornikiem bądź ze składowania odpadów organicznych. Zważywszy na wysoki potencjał „cieplarniany” metanu (ok. 21 razy większy niż CO<sub>2</sub>) celowym jest przeprowadzanie procesu biodegradacji bardziej efektywnie i w sposób kontrolowany, w instalacjach technicznych z zagospodarowaniem wytworzonego nośnika energii [2, 4].

#### 4. Biogazownie

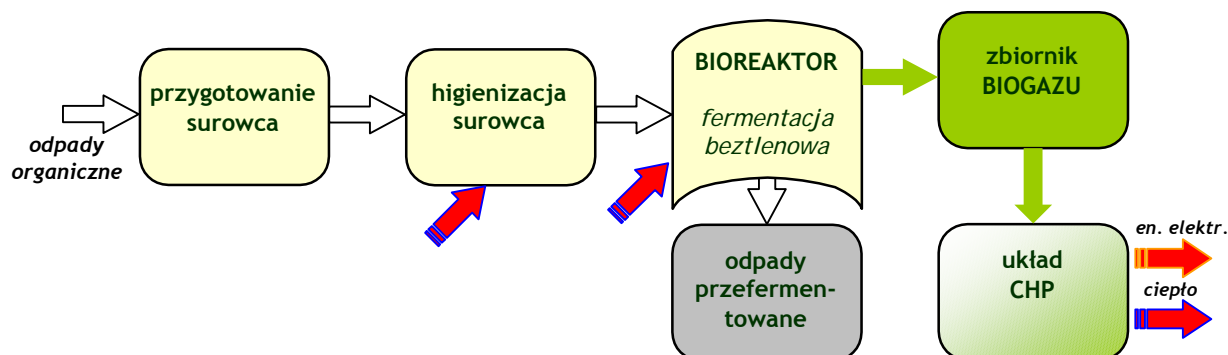
Pojęcie „biogazownia rolnicza” może dotyczyć zarówno skali instalacji do produkcji i utylizacji biogazu – ang. „*farm-scale biogas plant*” (w odróżnieniu od „*centralised biogas plant*”) jak i typu i pochodzenia surowca poddawanego fermentacji („*agricultural biogas plant*”).

Biogazownie rolnicze są na świecie bardzo popularne, zwłaszcza w Azji (Chiny, Indie), gdzie dominują działające periodycznie bardzo proste i tanie, wykonane sposobem gospodarskim podziemne niezaisolowane komory fermentacyjne. Wytworzony i zmagazynowany biogaz jest wykorzystywany na potrzeby kuchenne oraz do oświetlania. W niektórych częściach świata (np. na Bliskim Wschodzie) instalacje biogazowe służą nie tyle do zaspokajania potrzeb energetycznych, co do rozwiązania problemu odorów towarzyszących omawianym odpadom oraz do uzyskania wysokiej jakości humusu do użyźniania gleby. Najbardziej zaawansowane technologicznie są instalacje europejskie. Doświadczenia Europy Zachodniej w technice biogazowej na dużą skalę sięgają połowy lat osiemdziesiątych [9]. Należy tu zauważyć conajmniej dwa trendy – pierwszy dotyczący przede wszystkim instalacji niemieckich i austriackich, drugi – duńskich i brytyjskich. Typy te wyniknęły z powodu różnic prawno-ekonomicznych we wspomnianych krajach. Uogólniając można wyróżnić stabilne standardowe rozwiązania typu niemieckiego, gdzie rentowność uzyskuje się z subsydiowanej przez państwo utylizacji odpadów oraz z modelem duńskim – technologiami optymalizowanymi pod kątem wytwarzania energii elektrycznej, która stanowi o rentowności przedsięwzięcia. W Stanach Zjednoczonych obserwuje się w ostatnim czasie wyraźny wzrost zainteresowania biogazem, jednak podobnie jak w Japonii, wdrażane są tu sprawdzone technologie duńskie i niemieckie. [9]

W Polsce w latach 80 zbudowano kilka małych biogazowni rolniczych o objętości bioreaktora od 25 do 150 m<sup>3</sup>. Wykonawcą instalacji był IBMER. Eksploatacja tych instalacji nie była pozbawiona problemów technicznych i nie była uzasadniona z przesłanek ekonomicznych. Mimo znacznego potencjału technicznego biogazowni rolniczych w Polsce, na poziomie 13 PJ, wysokie koszty inwestycyjne technologii, brak przykładu krajowych efektywnych wdrożeń, brak dodatkowych bodźców dla inwestorów skutkowało dotychczas bardzo małym zainteresowaniem tą technologią. Dodatkowym problemem jest struktura krajowego rolnictwa – średnia wielkość gospodarstwa w Polsce to 6,5 ha podczas gdy w Niemczech 32,1 ha. Fakt ten implikuje problemy logistyczne w zaopatrywaniu biogazowni [16, 20]. W ciągu ostatnich lat także w Polsce obserwuje się wzrost zainteresowania technologiami biogazowymi. Pojawiają się pierwsze wdrożenia oraz sprzyjające zapisy w programach rozwoju krajowej energetyki. Niewątpliwym atutem jest też coraz bogatsza oferta wykorzystania różnych mechanizmów finansowych dla wsparcia inwestycji proekologicznych. NILU Polska jest obecnie zaangażowane w prace nad wdrożeniami w kraju biogazowni fermentujących odpady rolnicze z wykorzystaniem różnych technologii. Nasza uwaga jest skoncentrowana przede wszystkim na tych technologiach, które mogą znaleźć zastosowanie w zakładach przetwórstwa żywności (zakłady mięsne), gdzie występuje bezwzględna konieczność utylizacji odpadów. Biogazownie obok spalarni odpadów i zakładów odtłuszczania (produkcja mączki mięsno-kostnej) mogą spełnić wymagania określone prawem.

Uproszczony schemat klasycznej biogazowni rolniczej przedstawiono na rys. 2. W zależności od rodzaju dostępnych odpadów wymagane są różne czynności wstępnego przygotowania surowca do bioreaktora. W pierwszym etapie zazwyczaj przeprowadzana jest obróbka mechaniczna oraz uzyskanie odpowiedniej zawartości substancji suchej (TS). W przypadku odpadów rolniczych najczęściej konieczna jest także eliminacja zagrożeń bakteriologicznych – obróbka termiczna w

różnych parametrach zdefiniowanych dla różnych rodzajów odpadów. Po schłodzeniu do odpowiedniej temperatury (fermentacja mezo- lub termofilowa) wsad kierowany jest do bioreaktora gdzie w wyniku fermentacji beztlenowej produkowany jest biogaz, który jest magazynowany w zbiorniku o zmiennej objętości a następnie wykorzystywany do produkcji energii (najczęściej spalany w silnikach spalinowych CHP). Z bioreaktora wyprowadzane są także przefermentowane pozostałości, z których odzyskuje się wodę procesową oraz stałe osady, które mogą być wykorzystywane do nawożenia.



Rys. 2. Uproszczony schemat klasycznej biogazowni rolniczej

Fermentacja beztlenowa w świetle dotychczasowych ogólnościatowych doświadczeń jawi się jako jeden z najlepszych sposobów utylizacji odpadów organicznych. Właściwie zaprojektowana i eksploatowana biogazownia osiąga lepsze wskaźniki skumulowanego zużycia energii w stosunku do energii wyprodukowanej niż inne instalacje energetyczne. Do niewątpliwych korzyści ekologicznych należy redukcja niekontrolowanej emisji gazów cieplarnianych dzięki zagospodarowaniu odpadów do produkcji paliwa oraz redukcja emisji zanieczyszczeń dzięki wykorzystaniu tego paliwa do produkcji energii (zastępowanie zużycia paliw kopalnych). Produkowany w biogazowniach stabilny i wydajny nawóz naturalny zapewnia recyding substancji odżywczych w glebie i zmniejsza zapotrzebowanie na nawozy sztuczne. Zastępowanie nawożenia obornikiem przyczynia się do zmniejszenia ryzyka rozprzestrzeniania zagrożeń biologicznych oraz zmniejszenia skażenia wód gruntowych i gleby. Nie bez znaczenia jest także fakt znacznej, do 80%, redukcji emisji odorantów. Biogazownie doskonale wpisują się w ideę rolnictwa ekologicznego (zrównoważonego) stwarzając możliwość zaspokojenia własnych potrzeb energetycznych (i ewentualnej sprzedaży nadwyżek do sieci) przy okazji utylizacji własnych odpadów oraz ponownego wykorzystania składników odżywczych (azot, potas, fosfor) do nawożenia gleby [2, 4, 6, 28]. Potencjalnie są możliwe do osiągnięcia korzyści ekonomiczne wynikające z wymienionych wyżej oszczędności, z produkcji wysokiej jakości produktów handlowych (energia elektryczna, koncentrat nawozowy), ze świadczenia komercyjnie usługi utylizacji odpadów oraz inne, jak np. ze sprzedaży limitów emisji CO<sub>2</sub>. Sukces ekonomiczny jest jednak uwarunkowany skalą przedsięwzięcia, logistyką oraz właściwym wyborem technologii. Niewątpliwym problemem są duże koszty inwestycyjne instalacji, preferujące rozwiązania dużej skali. Większość dostawców technologii za minimalną uzasadnioną ekonomicznie skalę przyjmuje poziom 5 ton substancji suchej w odpadach na dobę, co w warunkach polskiego rolnictwa jest istotną przeszkodą.

## 5. Trendy rozwoju technologii

Doświadczenia zebrane w ciągu ostatnich 20 lat eksploatacji biogazowni przyczyniły się do znaczącego rozwoju tych technologii. Istnieje wyraźna tendencja do budowania coraz większych obiektów z założeniem dywersyfikacji surowca – współfermentacji odpadów komunalnych i rolniczych. Nie jest tajemnicą, że efekty ekonomiczne istnienia wielu wybudowanych zakładów rozczarowały inwestorów. Duża liczba instalacji została zamknięta a część z nich została w ostatnim czasie poddana modernizacji. Rozwój wiedzy teoretycznej o mechanizmach fermentacji pozwala na dopasowanie optymalnego składu odpadów stanowiących surowiec. W wyniku tego w konkretnych instalacjach czasem zrezygnowano z części odpadów, a czasem pozyskano nowe, inne jakościowo,

strumienie surowca, dzięki czemu poprawiono wskaźniki produkcji biogazu. Kluczową rolę odgrywa tu zawartość takich pierwiastków jak węgiel, azot, fosfor i potas, przy czym bardzo istotny jest stosunek C/N.

Kolejnym aspektem rozwoju technologii są usprawnienia układów sterowania procesem mające na celu intensyfikację produkcji biogazu. Postęp w elektronice i automatyce umożliwił wykonanie bardziej precyzyjnych układów sterowania przy jednoczesnej redukcji konieczności ręcznej ingerencji w proces (w pełni automatyczna kontrola procesu). Ze względu na preferowane w nowo budowanych instalacjach bardziej wydajne rozwiązanie oparte na fermentacji termofilowej wymagane jest utrzymanie ściśle określonego reżimu temperatury. Istotna jest także stała kontrola pH w bioreaktorze oraz stężeń związków azotu, które są w większych ilościach szkodliwe dla bakterii metanogennych. Intensyfikacja procesu jest osiągnięta także poprzez rozwinięcie powierzchni kontaktu mikroorganizmów z wsadem, mieszanie wsadu, stosowanie zwiększonego ciśnienia, recyrkulację części dojrzałego złoża do materiału świeżo wprowadzonego do bioreaktora itp. [1, 23, 27, 28].

Inna zauważalna tendencją w przypadku biogazowni to, zgodna z duchem zrównoważonego rozwoju, troska o jak najlepsze zagospodarowanie wszystkich strumieni produktów i półproduktów. Przykładem bezodpadowej technologii może być BIOREK, gdzie minimalizację odpadów stałych osiąga się poprzez dwustopniową fermentację, a z półproduktów są separowane i koncentrowane substancje użyteczne, np. w postaci etanolu, ciekłego azotu, kompostu, fosforu. Nadmiar wody procesowej w instalacji jest uzdatniany do wody pitnej w procesie odwróconej osmozy [6, 18].

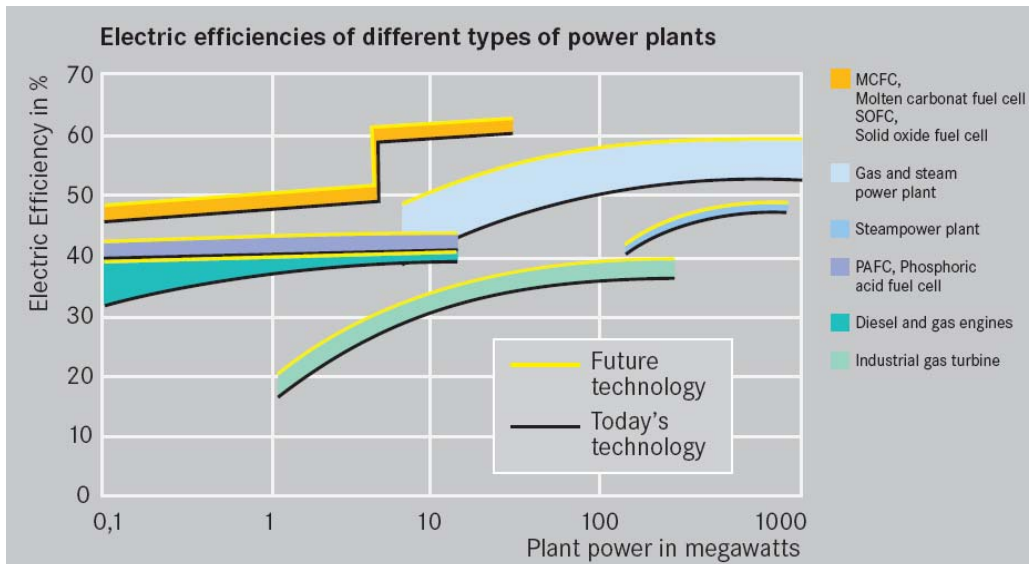
Istotny postęp dokonuje się w dziedzinie utylizacji wytworzonego biogazu. Jak wspomniano wcześniej biogaz jest najczęściej konwertowany na energię cieplną i elektryczną w silnikach spalinowych [5, 11]. Inne rozwiązania CHP to m.in. mikroturbiny, silniki Stirlinga, ogniwa paliwowe, układy ORC (obieg Rankine'a z czynnikiem organicznym) [3, 5, 7, 10, 11, 19, 25]. Czasem biogaz jest konwertowany chemicznie do postaci paliwa ciekłego – biometanolu, który może stanowić biokomponent do paliw silnikowych. Istnieją także rozwiązania napędów samochodowych zasilanych biogazem (na tej samej zasadzie jak gazem ziemnym) [5]. Na szczególną uwagę zasługują intensywnie rozwijane technologie oparte na produkcji energii elektrycznej i cieplnej z wykorzystaniem ogniw paliwowych.

Korzenie technologii ogniw paliwowych sięgają wieku XIX. Obecnie bardzo wiele ośrodków zajmuje się pracami nad rozwojem tej technologii. Zainteresowanie to wynika z możliwości wytwarzania energii elektrycznej z wysoką sprawnością (rys. 3.), ze znikomej emisji substancji szkodliwych i hałasu do środowiska oraz z powszechnego trendu zainteresowania technologiami wodorowymi. Niektóre typy ogniw paliwowych osiągnęły już dojrzałość rynkową i wdrożono ich seryjną produkcję (np. PAFC), zaś w stosunku do innych fakt ten dokonuje się obecnie lub nastąpi w bliskiej przyszłości. Paliwem zasilającym ogniwa paliwowe może być także biogaz, a ściślej metan w nim zawarty (wymagany reforming wewnętrzny lub zewnętrzny w celu konwersji na wodór). W tabeli 1 zestawiono podstawowe parametry ogniw paliwowych, które mogą być wykorzystane w biogazowniach. Na szczególną uwagę zasługuje oferowane przez MTU-CFC Solution GmbH ogniwo węglanowe *hotmodule*, testowane na skalę techniczną w kilku szpitalach, zakładach przemysłowych, oczyszczalni ścieków, z doświadczeniami przepracowanych od kilku do kilkudziesięciu tys. godzin. Moc modułu w tym przypadku wynosi 245 kW<sub>el</sub> i 180 kW<sub>h</sub> [10, 25, 26]. Dzięki obniżonej w stosunku do ogniw typu SOFC temperaturze, konstrukcja może być wykonana ze stali a nie z kruchych i kosztownych materiałów ceramicznych. Zasadę działania ogniwa MCFC przedstawiono na rys. 4.

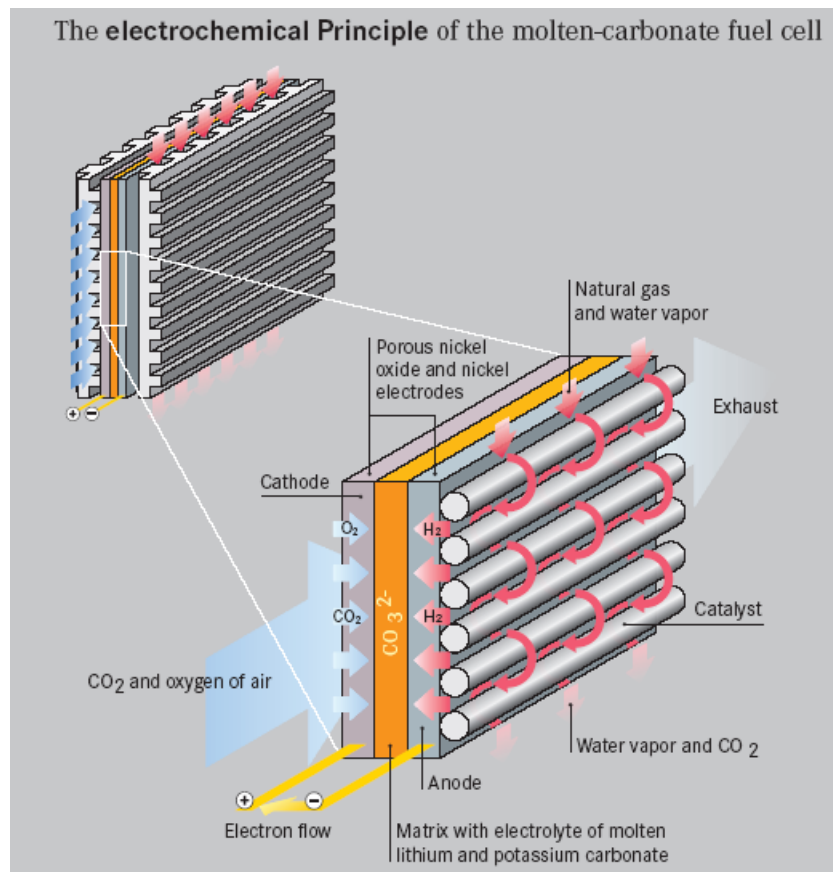
**Tabela 1.**

**Typy i parametry ogniw paliwowych, które mogą być zasilane biogazem [5]**

Typ ogniwa paliwowego	PAFC	MCFC	SOFC
elektrolit	kwask fosforowy H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	stopione węglany alkaliczne (Li K Na)	stały tlenek ZrO <sub>3</sub> i Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
temperatura pracy, °C	200	650	1000
sprawność (elektr.), %	40 ÷ 45	50 ÷ 57	45 ÷ 50
moc pojedynczego modułu, kW	200 ÷ 2000	2000	3 - 100



Rys. 3. Porównanie sprawności elektrycznej różnych technologii energetycznych [10, 25]



Rys. 4. Zasada działania ogniwa paliwowego typu MCFC [25]

W ogniwie paliwowym następuje bezpośrednia przemiana energii chemicznej w energię elektryczną. W technologii *hotmodule* zastosowano reforming wewnętrzny – w temperaturze  $650^\circ\text{C}$  w wyniku reakcji pary wodnej z metanem z biogazu następuje uwolnienie wodoru, który jest przechwytywany przez anodę i utleniany katalitycznie (utleniacz – tlen z powietrza i  $\text{CO}_2$  jest

doprowadzany do katody). Procesowi towarzyszy przepływ jonów w elektrolicie i przepływ elektronu od anody do katody.

W rozdziale poświęconym trendom rozwoju biogazowni warto odnotowania są także spotykane ciekawe rozwiązania technologii kombinowanych. Można tu wyróżnić rozwiązania łączące w sobie zarówno fermentację beztlenową jak i tlenową (kompostowanie), jak również połączenia biodegradacji suchej i mokrej. Testowane są instalacje zawierające obok bioreaktora dodatkowy moduł pirolityczny, co pozwala na zwiększenie możliwości potencjalnej utylizacji odpadów trudnodegradowalnych biologicznie (np. PET, kartony, słoma etc.). W takim przypadku w wysokiej temperaturze i przy podwyższonym ciśnieniu, w obecności pary wodnej, biogaz przechodzący przez pirolizator zamienia się w tzw. gaz syntezowy, w którym główny udział mają tlenek węgla i wodór. Istnieje oczywiście także możliwość wykorzystywania technologii konwersji chemicznej biogazu np. z wykorzystaniem reaktora Fischera-Tropscha.

## 6. Podsumowanie

Fermentacja anaerobowa jawi się jako bardzo dobra, stosowana prawie na całym świecie, metoda utylizacji większości odpadów organicznych. Jednocześnie w wyniku tego procesu produkowane jest paliwo gazowe – biogaz – z odnawialnego źródła energii jakim jest biomasa. Istnieje bardzo szerokie spektrum możliwości praktycznego wykorzystania biogazu przede wszystkim do produkcji energii elektrycznej i ciepłej w układach CHP. Biogaz jako mieszanina dwóch gazów ( $\text{CH}_4$  i  $\text{CO}_2$ ) może być w stosunkowo łatwy sposób przekształcany w procesach chemicznych do uzyskania innego paliwa gazowego lub zmagazynowany w postaci ciekłej. Bardzo ciekawe perspektywy rysują się dzięki popularyzacji ogniw paliwowych, które cechują się wysoką sprawnością wytwarzania energii elektrycznej.

Mimo licznych potencjalnych korzyści ekologicznych, energetycznych i ekonomicznych z wykorzystania beztlenowej biodegradacji w Polsce zainteresowanie wdrażaniem biogazowni rolniczych zaczyna dopiero się pojawiać. Do głównych barier popularyzacji tej technologii w warunkach krajowych należy zaliczyć wysokie koszty inwestycyjne, niekorzystną strukturę krajowego rolnictwa, brak znanych przykładów efektywnych ekonomicznie wdrożeń, zbyt małe lub zbyt trudne do pozyskania wsparcie finansowe dla inwestycji oraz badań naukowych nad rozwojem istniejących technologii.

## Literatura

- [1] *ADA Anaerobic Digestion Accelerator*, Materiały firmy Preseco Oy, [www.preseco.fi](http://www.preseco.fi)
- [2] Al Seadi T., *Good practice in quality management of AD residues from biogas production*, IEA Bioenergy, Task 24 – Energy from biological conversion of organic waste, 2001.
- [3] Biedermann F., Carlsen H., Obernberger I., Schoch M., *Small-scale CHP Plant Based on a 75 kW<sub>e</sub> Hermetic Eight Cylinder Stirling Engine for Biomass Fuels – Development, Technology and Operating Experiences*, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> World Conference and Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection; Rome, Italy, 2004.
- [4] *Biogas and More!, Systems and Market Overview of Anaerobic Digestion*, IEA Bioenergy, 2001.
- [5] *Biogas Upgrading and Utilisation*, IEA Bioenergy, Task 24 – Energy from Biological Conversion of Organic Waste, 1999.
- [6] *BIOREK – from Waste to Resource*, Materiały firmy BIOSCAN A/S, 2003, [www.bioscan.dk](http://www.bioscan.dk)
- [7] Carlsen H., *Status and Prospects of Small-scale Power Production Based on Stirling Engines – Danish Experiences*, IEA Bioenergy Conference; Power Production from Biomass III, Espoo, Finland, 1998.
- [8] *Energy For The Future: Renewable Sources Of Energy, White Paper for a Community Strategy and Action Plan*, COM(97)599, European Commission, 1997.
- [9] Fischer T., Krieg A., *Agricultural Biogas Plants – Worldwide*, International Congress, Renewable Energy Sources in the Verge of XXI Century, Warszawa, 2001.

- [10] Hoffmann J., *Biogas Fuel Cell Power Plant as an Interesting Energy Prospect?*, Proceedings of Central European Biomass Conference 2005, Graz, Austria, 2005.
- [11] Kalina J., Skorek J., *Paliwa gazowe dla układów kogeneracyjnych*, Materiały Seminarium „Generacja Rozproszona”, cykl „Elektroenergetyka w procesie przemian”, Gliwice, 2002.
- [12] Kirchmayr R., Baumann F., Braun R., *Perspectives of Anaerobic Digestion in the Treatment of Animal By-Products, Possibilities and Limits of AD-Technology, Is a TSE-Post Treatment Monitoring Possible?*, Proceedings of Impacts of Waste Management Legislation on Biogas Technology, IFA-Tulln, 2002.
- [13] Kirchmayr R., Scherzer R., Baggesen D.L., Braun R., Wellinger A., *Animal By-Products and Anaerobic Digestion, Requirements of the European Regulation (EC) No 1774/2002*, IEA Bioenergy, Task 37 – Energy from Biogas and Landfill Gas, 2003.
- [14] *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Conference of the Parties, Third session, Kyoto, 1997.
- [15] Langhans G., *Biotechnological Treatment of Agricultural Wastes*, Materiały firmy Linde-KCA-Dresden GmbH.
- [16] Malina G., *An Overview of Status and Development of Bio-Waste Treatment in the EU Candidate Countries of Central Europe: Impact of Legislation on Biogas Technology*, Proceedings of Impacts of Waste Management Legislation on Biogas Technology, IFA-Tulln, 2002.
- [17] Miksch K., *Biotechnologia środowiskowa, część I*, Biblioteczka Fundacji Ekologicznej SILESIA, tom IX, Katowice, 1995.
- [18] Norddahl B., Rohold L., *The BIOREK Concept for the Conversion of Organic Effluent to Energy, Concentrated Fertiliser and Potable Water*, BIOSCAN A/S, 2000.
- [19] Obernberger I., *Electricity from Solid Biomass – State of the Arts and Future Developments*, Proceedings of Central European Biomass Conference 2005, Graz, Austria, 2005.
- [20] Oniszk-Poplawska A., Zowsik M., *State of the Art and Perspectives for Development of Agriculture Biogas Technologies in Poland*, European Biogas Forum, 2003.
- [21] *Regulation (EC) No. 1774/2002*, Official Journal L 273.
- [22] *Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2000.
- [23] *The BTA-Process*, Materiały firmy Biotechnische Abfallverwertung GmbH & Co KG, [www.bta-technologie.de](http://www.bta-technologie.de)
- [24] *The Global Marshall Plan Initiative*, 2003, [www.globalmarshallplan.org](http://www.globalmarshallplan.org)
- [25] *The hotmodule Technology*, Materiały firmy MTU CFC Solutions GmbH, [www.mtu-cfc.com](http://www.mtu-cfc.com)
- [26] Trogisch S., Baaske W.E., *Biogas Powered Fuel Cells, Case Studies for their Implementation*, Trauner Verlag, Linz, 2004.
- [27] *Waasa Process*, Materiały firmy CITEC, [www.citec.fi](http://www.citec.fi)
- [28] *Wet and dry fermentation and co-fermentation, Our know-how for your plant stability and operational efficiency*, Linde Digestion Technologies, Materiały firmy Linde-KCA-Dresden GmbH.

### **Modern technologies of animal by-products utilization for energy generation**

This work is a result of NILU Polska's engagement into agricultural biogas plant applications in Poland. The basic information about anaerobic digestion in the context of organic wastes utilisation and renewable energy resources (biogas) was presented in the paper. A literature based worldwide overview of farm-scale biogas plant technologies and their implementation was shown. A scheme of a typical biogas plant and contemporary trends in development of biogas plants technologies were also presented. A special emphasis was put on fuel cells as an interesting way of efficient energy generation from biogas. It is expected that experiences from testing and continuous work on construction improvement will result in costs reduction and popularization of fuel cells applications in the near future.