

KRZYSZTOF BIERNAT

Instytut Ekologii i Bioetyki, UKSW, Warszawa

IZABELA RÓŹNICKA

Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Warszawa

Stan i perspektywy wykorzystania biogazu jako nośnika energii do zastosowań stacjonarnych i środków transportu

Słowa kluczowe: biogaz, fermentacja metanowa, CNG, biowodór

Key words: biogas, methane fermentation, CNG, biohydrogen

Wprowadzenie

Energia słońca, wiatru, wody i biomasy umożliwiły rozwój cywilizacji na całym świecie jednak postępująca konsumpcja i rewolucja przemysłowa zmusiły do poszukiwania rozwiązań odpowiadających rosnącemu zapotrzebowaniu na energię. Postępująca konsumpcja energii oznaczała szybki rozwój nowych technologii, wzrost poziomu życia ludzi, ale równocześnie przyczyniała się do coraz większej emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Wskutek spalania coraz większej ilości paliw kopalnych zwiększyła się znacząco emisja gazów cieplarnianych. Tanie i efektywne energetycznie nośniki takie jak: węgiel i ropa naftowa, spowodowały, że tradycyjne, odnawialne źródła energii (OZE) (B) straciły na znaczeniu. Jak jednak powszechnie wiadomo paliwa kopalne należą do grupy zasobów wyczerpywalnych i możliwości ich wydobycia sukcesywnie maleją. Powrót do odnawialnych źródeł energii jest nieunikniony. Wyższe ceny na rynku paliw kopalnych oznaczają większą konkurencyjność OZE oraz ich wpływ na gospodarkę. Polska jako

członek Unii Europejskiej podlega międzynarodowym regulacjom prawnym dotyczącym polityki energii odnawialnej jak i uwarunkowaniom krajowym określającym dalsze kierunki rozwoju tych nośników energii. Uwarunkowania prawne w zakresie rozwoju i promocji paliw alternatywnych w Unii Europejskiej i w Polsce określają rozporządzenia i dyrektywy. Obecnie obowiązującym, a zarazem jednym z najważniejszych aktów prawnych, jest dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania energii ze źródeł odnawialnych. Dyrektywa ta zmienia i w następstwie uchyla wcześniejsze dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Głównym jej celem jest ustalenie wspólnych ram dla promowania energii ze źródeł odnawialnych. Dyrektywa ustanawia zasady dotyczące realizowania projektów dotyczących OZE, dostępu energii ze źródeł odnawialnych do sieci elektroenergetycznej oraz określa kryteria zrównoważonego rozwoju dla biopaliw. Dyrektywa określa również cele pośrednie poprzez wytyczenie oszacowanego udziału energii z OZE w całkowitym finalnym zużyciu energii (brutto) w latach 2011-2018. Dla Polski udział ten wynosi kolejno 8,8% w latach 2011-2012, 9,5% w latach 2013 – 2014, 10,7% w latach 2015-2016 oraz 12,3% w latach 2017-2018. Obecnie istniejące przepisy prawne wprowadzają systemy wsparcia w zakresie większego zużycia energii elektrycznej z OZE poprzez m.in. wprowadzenie systemu „zielonych” certyfikatów, zwrotu zapłaconej akcyzy od zielonej energii elektrycznej, a także zapewnienie odbioru wyprodukowanej energii elektrycznej z zielonych źródeł.

1. Biogaz jako odnawialne źródło energii (OZE)

Do sektora OZE zaliczyć można energię wiatru, słońca, pływów, energię geotermalną oraz biomasę. Biomasa to sektor atrakcyjny w Polsce ze względu na duże zasoby substratów oraz różne możliwości wykorzystania energii uzyskiwanej z fermentacji takiego surowca (Web-03).

Proces beztlenowej fermentacji biomasy, a dokładniej odchodów zwierzęcych, odpadów porolniczych, osadów ściekowych lub pozyskiwanie gazu wysypiskowego jest określany jako technologia wytwarzania biogazu. Biogaz jest efektywnym nośnikiem energii, który w innych

krajach UE jest produkowany na szeroką skalę (Web-02). Biogaz według definicji Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE (B) z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, określa biogaz jako gaz pochodzący ze źródeł biologicznych, oczyszczalni ścieków, a także wysypisk odpadów. Jego produkcja zachodzi na drodze rozkładu biomasy i/lub z części odpadów ulegającej biodegradacji. Jeśli biogaz ma zostać użyty jako biopaliwo lub gaz opałowy musi zostać oczyszczony do jakości gazu ziemnego. Uzyskanie wysokiej zawartości metanu zależy m.in. od zawartości suchej masy w masie odpadów oraz od zawartości suchej masy organicznej w stosunku do suchej masy całkowitej.

Proces beztlenowego rozkładu materii organicznej posiada wiele zalet z punktu widzenia ochrony środowiska: jest źródłem produkcji czystej energii, rozwiązuje problem utylizacji odpadów z przemysłu rolniczego, eliminacji patogenów i niwelacji odorów. Ponadto wytwarzanie biogazu korzystnie wpływa na mniejsze zużycie sztucznych nawozów do upraw rolnych, gdyż odpad pofermentacyjny wykorzystywany jest jako nawóz naturalny. Zaletą energii produkowanej z biogazu jest możliwość regulacji wytwarzanej mocy w zależności od aktualnego zapotrzebowania, a także prosty sposób magazynowania surowca (Web-02). Powoduje to, że cały proces jest bardziej wydajny oraz możliwe jest spełnienie indywidualnych potrzeb energii wytworzonej w taki sposób.

Ze względu na duży potencjał energetyczny gazu może być on poddawany konwersji, podczas której przetwarzany jest w energię elektryczną, energię cieplną, energię mechaniczną lub energię chemiczną innych związków. Podczas konwersji biogazu podstawowe znaczenie ma jego skład ze względu na wysokość wartości opałowej, która zmienia się w przedziale od 16,7 do 23,0 MJ/m³ w zależności od stopnia rozcieńczenia metanu (Lewandowski 2007: 323) W celu podniesienia wartości opałowej stosowane są zabiegi wzbogacania i oczyszczania biogazu z domieszek takich jak amoniak, siarkowodór czy ditlenek węgla. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że jeżeli bezpośrednio wykorzystanie biogazu w miejscu jego wytworzenia nie jest możliwe, w takiej sytuacji musi on zostać spalony w pochodni. Jest to koniecz-

ne ze względu na ogromną emisyjność gazu do powietrza. Mimo wielu korzystnych z punktu widzenia energetyki cech, gaz ten jest także źródłem groźnego dla środowiska naturalnego metanu, który w momencie niekontrolowanej emisji do atmosfery przyczynia się do pogłębiania efektu cieplarnianego i nieodwracalnych zmian w atmosferze.

2. Potencjał biogazu w Polsce

Źródła odnawialne w Polsce, w tym biomasa, w stosunku do innych krajów Unii Europejskiej nie są wykorzystywane na szeroką skalę. Wykorzystywanie odpadów rolniczych do produkcji biogazu jest rozwiązaniem dopiero wdrażanym w politykę energetyczną kraju. Biogaz w Polsce wytwarzany jest z różnych produktów odpadowych (odchody zwierzęce, roślinne odpady poprodukcyjne). Zagospodarowanie odpadów jest przede wszystkim istotne z punktu widzenia ochrony środowiska ponieważ zutilizowane zostają odpady będące między innymi źródłem gazów cieplarnianych.

2.1. Biogaz rolniczy

Sektor rolny w Polsce służy przede wszystkim zabezpieczeniu potrzeb żywnościowych kraju. Szacując jego potencjał należy wziąć pod uwagę wiele różnych czynników takich jak warunki agroklimatyczne, powierzchnie upraw i szybkość wzrostu plonów, a także potencjał plonotwórczy. Dopiero wtedy może zostać określony areal przeznaczony wyłącznie do celów energetycznych.

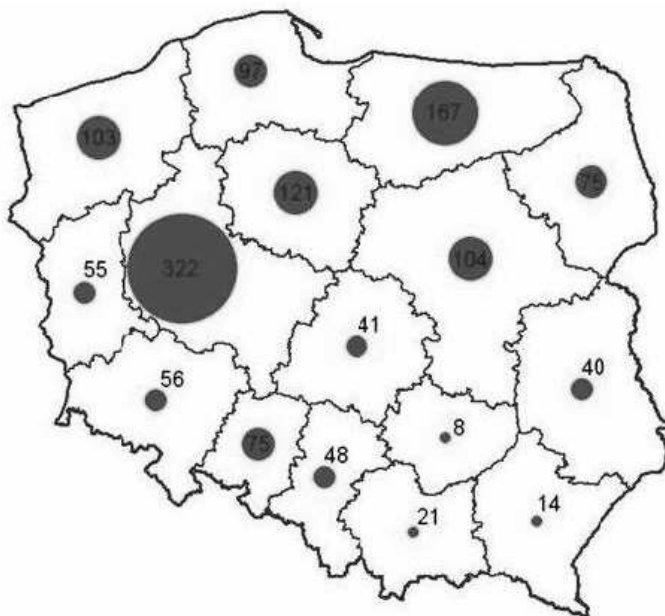
W pierwszej kolejności powinny być wykorzystane produkty uboczne rolnictwa wymagające utylizacji (np. odchody zwierzęce) oraz pozostałości z przetwórstwa rolno-spożywczego (Żmuda 2009: 5). Tabela 1 przedstawia obszary rolnicze Polski w podziale na województwa. Z tabeli tej wynika, że ponad połowa obszaru Polski to tereny rolnicze (16 154 tys. ha).

Stan i perspektywy wykorzystania biogazu...

Województwa	Ziemie uprawne	Sady	Łąki	Pastwiska	Inne	Całość
(tys. ha)						
Dolnośląskie	770,5	5,9	103,6	31,6	52,7	964,5
Kujawsko-pomorskie	984,1	9,3	86,3	20,5	7,5	1 107,6
Lubelskie	1 237,2	63,6	221,4	28,7	36,7	1 587,7
Lubuskie	356,1	4,1	76,3	28,4	34,3	499,2
Łódzkie	892,1	38,2	144,5	31,2	17,6	1 123,7
Małopolskie	451,4	16,0	184,2	41,8	28,7	722,2
Mazowieckie	1 449,7	98,3	398,2	125,0	66,8	2 138,0
Opolskie	504,9	0,9	50,0	8,9	4,7	569,3
Podkarpackie	466,9	12,1	190,5	45,9	56,7	772,1
Podlaskie	720,7	4,9	275,9	113,5	12,5	1 127,5
Pomorskie	601,5	3,0	90,5	38,6	28,8	762,3
Śląskie	327,7	4,0	79,7	14,7	19,8	445,8
Świętokrzyskie	409,8	31,0	99,9	13,0	23,7	577,3
Warmińsko-mazurskie	640,3	4,0	145,1	131,2	60,6	981,1
Wielkopolskie	1 546,3	19,1	196,9	27,5	20,7	1 810,5
Zachodnio-pomorskie	734,6	15,1	107,3	33,6	74,8	965,5
POLSKA	12 093,8	329,5	2 450,3	734,1	546,6	16 154,3

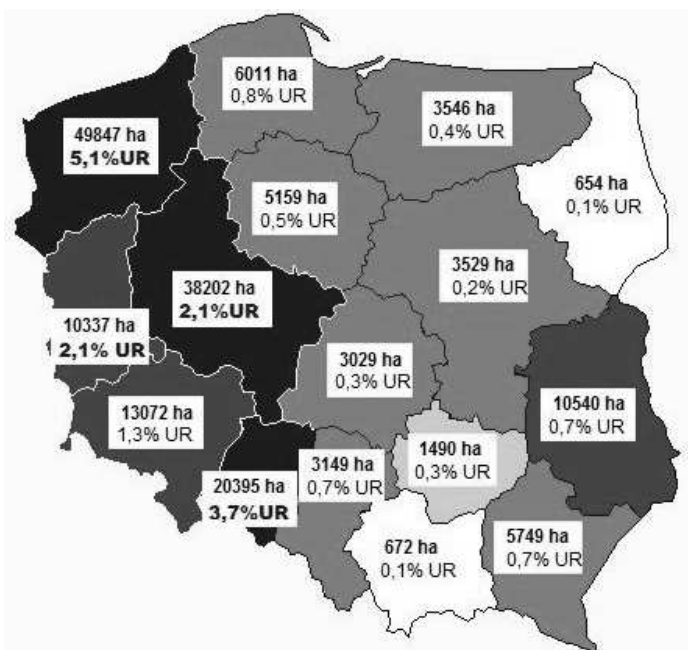
Tabela 1. Obszary rolnicze w podziale na województwa (A)

Główną przeszkodą w powstaniu biogazowni na określonym obszarze jest płynność w dostawie substratów. W Polsce produkcja biogazu opierająca się na wykorzystaniu odchodów zwierzęcych w fermentacji metanowej możliwa jest w gospodarstwach rolnych posiadających powyżej 100 SD (sztuk dużych). Gospodarstw, które spełniają takie wymagania jest w kraju 7800 (Web-07). Rys. 1 przedstawia rozmieszczenia ferm bydła w poszczególnych województwach Polsce (powyżej 100 sztuk). Jak można zauważyć dominuje tutaj województwo wielkopolskie (322 fermy).



Rys.1 Liczba ferm bydła o obsadzie powyżej 100 sztuk (Web-10)

Udział w produkcji biogazu mogą mieć także inne rodzaje ferm, np. farmy drobiu lub trzody chlewnej. Duże farmy drobiu (powyżej 5000 sztuk) znajdują się w województwie kujawsko-pomorskim (264 farmy) oraz mazowieckim (228 ferm) (Web-07). Jeśli chodzi o farmy trzody chlewnej największą ich ilośćą charakteryzuje się województwo wielkopolskie (476 ferm) oraz łódzkie (349 ferm). (Web-07) Rys. 2 przedstawia procentowy udział powierzchni upraw roślin energetycznych w całkowitej powierzchni użytków rolnych w Polsce, w zależności od konkretnych województw.



Rys. 2 Udział powierzchni upraw roślin energetycznych według województw (Żmuda 2009:5)

Jak można wywnioskować z rysunku w uprawie roślin energetycznych dominuje województwo zachodniopomorskie (49 847 ha), wielkopolskie (38 202 ha) i opolskie (20 395 ha).

2.2. Biogaz składowiskowy

Niesegregowane odpady komunalne rocznie stanowią ok. 10 mln Mg odpadów w Polsce. W grupie tej znajdują się zarówno odpady z frakcją biodegradowalną jak i znaczna ilość odpadów zielonych (pochodzących z ogrodów, targowisk, parków). Znaczna większość z nich jest składowana następnie na składowiskach odpadów i ulega samoistnemu rozkładowi przez co zachodzi niekontrolowana emisja metanu do atmosfery (Web-05).

Województwo	Liczba składowisk z instalacją odgazowania							
	w tym z gazem uchodzącym do atmosfery							
	w tym unieszkodliwionym przez spalanie							
	ogółem	razem	bez odzysku energii		z odzyskiem energii			
			w palnikach indywidualnych	w pochodni zbiorczej	cieplnej		elektrycznej	
				liczba	Ilość energii wytworzonej (MJ)	liczba	Ilość energii wytworzonej (KWh)	
Dolnośląskie	30	28	1	1	-	-	2	7 464 795
Kujawsko-pomorskie	25	20	-	-	2	23 869 534	4	5 446 737
Lubelskie	6	6	-	1	-	-	1	1 672 140
Lubuskie	13	11	1	-	-	-	1	1 549 131
Łódzkie	14	9	-	1	-	-	2	865 296
Małopolskie	13	10	2	2	-	-	2	7 658 180
Podkarpackie	19	14	3	-	-	-	2	2 651 167
Podlaskie	7	7	-	-	-	-	-	-
Pomorskie	9	6	-	-	2	6 491 337	3	6 532 306
Śląskie	28	12	2	6	3	19 106 685	9	18 788 785
Świętokrzyskie	7	6	-	1	-	-	1	396 568
Warmińsko-mazurskie	12	8	-	1	2	162 415	1	4 792 205
Wielkopolskie	45	41	-	1	1	457 800	2	7 801 673
Zachodnio-pomorskie	19	14	1	-	-	-	4	5 576 421
POLSKA	304	237	10	16	12	82 246 023	44	84 985 515

Tabela 2. Odgazowanie składowisk odpadów komunalnych w Polsce w 2007 r. (A)

W warunkach optymalnych z jednej tony odpadów można pozyskać maksymalnie do 200 m³ gazu wysypiskowego. Przy założeniu, że z jednej tony odpadów można wyprodukować ok. 200 m³ biogazu, jego

roczna produkcja mogłaby wynieść 1 mld m³. Istotnym czynnikiem jest tutaj zawartość metanu w gazie wysypiskowym, która średnio wynosi 50%. Wyprodukowanie i zagospodarowanie takiej ilości metanu oznacza przychód czystego gazu w wysokości 500 mln m³. Oznacza to, że inwestując w instalacje do odzysku gazu wysypiskowego na składowiskach odpadów można zyskać do 18 tys. TJ energii w całym kraju (EC BREC/IBMER 2003). W Polsce coraz więcej składowisk jest wyposażanych w instalacje do odzysku gazu wysypiskowego (tabela 2). Część instalacji wyposażona jest także w urządzenia do produkcji energii cieplnej i/lub elektrycznej.

Według danych Agencji Rynku Energii w Polsce (styczeń 2010) potencjał produkcyjny biogazu pochodzącego z wysypisk odpadów jest szacowany na 33 927 500 m³, co odpowiada 565 953 GJ energii, przy wartości opałowej równej 16 681 kJ/m³ (Agencja Rynku Energii 2010).

2.3. Biogaz z oczyszczalni ścieków

Z danych Urzędu Regulacji Energetyki na dzień 1 stycznia 2010 r. wynika, iż obecnie istnieje 46 instalacji służących do wytwarzania biogazu pochodzącego z oczyszczalni ścieków o łącznej mocy 23,673 MW (Agencja Rynku Energii 2009). Instalacje te wybudowane są przy oczyszczalniach ścieków. Osady ściekowe podlegają higienizacji dlatego nie zawierają związków toksycznych i dobrze nadają się do fermentacji metanowej. Na uwagę zasługują również bardzo wysoka zawartość (ok. 90%) masy organicznej oraz niska ilość suchej masy (ok. 5%) co sprzyja procesowi rozkładu beztlenowego. Potencjał tych osadów nie jest jednak wykorzystywany – najczęściej osady ściekowe są składowane na składowiskach, spalane termicznie lub kompostowane na terenie oczyszczalni. Uregulowania prawne ograniczają składowanie osadów, dlatego niezbędne jest upowszechnienie właściwych metod utylizacji osadów ściekowych i ich optymalnego zagospodarowania (Web-06).

Najkorzystniejsze warunki produkcji biogazu posiadają oczyszczalnie biologiczne gdzie już w procesach utylizacji ścieków stosuje się obecność bakterii rozkładających toksyczne związki. Istotnym czynnikiem w efektywności produkcji biogazu jest w tym wypadku przede

wszystkim powierzchnia oczyszczalni ścieków czyli takich gdzie ścieki są przyjmowane w ilości 8 000 – 10 000 m³/dobę (EC BREC 2003). Z wytworzonego w 2008 roku w Polsce biogazu pochodzącego z oczyszczalni ścieków otrzymano 94,9 GWh energii elektrycznej i 733 TJ (Agencja Rynku Energii 2010).

3. Biogaz jako nośnik energii

Biogaz można wykorzystać na kilka sposobów wykorzystując konwersję zawartej w nim energii na: (Web-04)

- energię elektryczną (ogniwa paliwowe, generator napędzany silnikiem na biogaz);
- energię cieplną (palnik, kocioł);
- energię mechaniczną (silnik spalinowy na biogaz);
- energię chemiczną innych związków (tworzyw sztucznych lub paliw).

Biogaz może być wykorzystany jako źródło ciepła na lokalną skalę (np. na użytek własny oczyszczalni ścieków, ferm, zakładów przemysłowych). Inną alternatywą wykorzystania biogazu jest uszlachetnienie i oczyszczenie go do parametrów zbliżonych do gazu ziemnego i co za tym następuje stosowanie go jako zamiennik CNG, czyli jako sprężonego gazu ziemnego. Przeprowadzenie konwersji biogazu, zarówno tego pochodzącego z oczyszczalni ścieków, składowiska odpadów czy z rolnictwa, może stanowić korzystną energetycznie metodę jego zagospodarowania oraz ochronę środowiska naturalnego przed emisją gazów pogłębiających efekt cieplarniany (Lewandowski 2007: 16).

3.1. Biogaz jako paliwo w procesach kogeneracji

Biogaz może być wykorzystywany w procesach skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła użytkowego. W wyniku spalania biogazu, energia chemiczna paliwa zamieniana jest na energię cieplną pary wodnej. Następnie, w turbinie ma miejsce ekspansja termiczna, podczas której ciepło pary ulega przemianie w energię kinetyczną. Na tym etapie, w generatorze napędzanym przez turbinę, energia kinetyczna przekształcana jest w energię elektryczną, która z kolei odpro-

wadzana jest do sieci elektroenergetycznej. Spalanie biogazu następuje w kotłach, a energia cieplna magazynowana jest w zbiornikach ciśnieniowych wyposażonych w instalacje pomocnicze, a następnie wykorzystywana jest na potrzeby własne biogazowni, np. do ogrzania komory fermentacyjnej lub kierowana jest do lokalnej sieci ciepłowniczej. Taki sposób zagospodarowania biogazu nosi nazwę kogeneracji. Jednocześnie wytwarzana jest energia pozwalająca pokryć potrzeby własne biogazowni lub oczyszczalni ścieków, w której gaz jest produkowany oraz energia dla innych użytkowników (np. indywidualnych odbiorców). Należy jednak wspomnieć, że aby uzyskać wysoką wydajność procesu biogaz musi zostać uprzednio oczyszczony z ditlenku węgla. Wówczas sprawność wytwarzania ciepła jest znacznie wyższa. Konwersja biogazu w energię cieplną jest najbardziej opłacalna, z uwagi na największą sprawność (ponad 80%). Jej ograniczeniem jest jednak konieczność zagospodarowania powstałej energii cieplnej już w miejscu jej wytworzenia z powodu wysokich kosztów transportu ciepła.

4. Oczyszczanie biogazu – „upgrading”

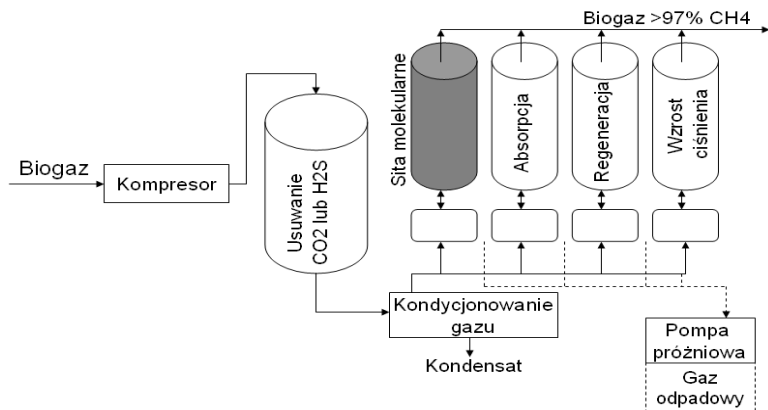
Podstawowym czynnikiem decydującym o możliwości wykorzystania biogazu jako surowca do wytwarzania innych nośników energii jest duże stężenie metanu (powyżej 40%). Oprócz metanu gaz ten zawiera jednak szereg innych, mniej pożądaných domieszek. Oczyszczanie biogazu należy rozpocząć od usunięcia siarkowodoru, ditlenku węgla oraz wody, które obniżają jego wartość opałową oraz powodują korozję komory spalania. W następstwie tych procesów otrzymywany jest biometan, który musi spełniać odpowiednie normy. Dotyczą one wymagań jakościowych, które mogą pozwalać na wtłoczenie go do sieci przesyłowej. Normy określające parametry gazu w sieci przesyłowej są następujące:

- PN-C-04752:2002 – Gaz ziemny. Jakość gazu w sieci przesyłowej;
- PN-C-04753:2002 – Gaz ziemny. Jakość gazu dostarczonego odbiorcom z sieci rozdzielczej;

W Polsce Ministerstwo Gospodarki opracowuje rozporządzenie w sprawie wprowadzania biogazu rolniczego do sieci dystrybucji gazowej. W art. 3 ustęp 1 projektu powyższego rozporządzenia określone są parametry jakościowe biogazu wprowadzanego do sieci dystrybucyjnej. Brak jest jednak ujednoczonych standardów technicznych, które pozwoliłyby na regulacje prawne. W innych krajach Unii Europejskiej, np. w Niemczech parametry jakościowe biogazu są ujednoczone z parametrami gazu ziemnego. Do sieci może być włączany biogaz o wysokiej (symbol H) lub niskiej (symbol L) wartości opałowej.

Osuszanie biogazu stosuje się głównie po fermentacji mokrej lub wcześniejszych zabiegach uzdatniania gdzie wprowadzana było woda. Proces ten polega na usunięciu z biogazu pary wodnej – w fazie produkcyjnej jest on wysycany parą wodną ze względu na bardzo wysoką (100%) wilgotność względną w komorze fermentacji. Osuszanie przebiega w warunkach obniżonej temperatury ponieważ wtedy możliwe jest skroplenie pary wodnej oraz innych gazów i aerozoli i ich wydzielenie w postaci kondensatu. Kondensat zbierany jest następnie w tzw. wykrapłaczach.

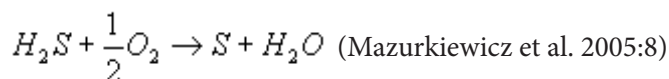
W metodzie adsorpcji zmiennociśnieniowej (PSA) z biogazu, za pomocą węgla aktywnego, usuwany jest ditlenek węgla, siarkowodor i para wodna. Adsorpcja przebiega pod zwiększonym ciśnieniem na powierzchni węgla aktywnego lub sitach molekularnych. Zdesorbowany biogaz jest kilkakrotnie zwaracany do zbiornika w celu odzyskania całego możliwego metanu a następnie uwalniany do atmosfery. Minusem metody jest możliwość dezaktywacji złoża przez powyżej wymienione związki dlatego dobrym rozwiązaniem jest wstępne oczyszczenie biogazu przed podaniem go na kolumny ze złożem. W momencie gdy złożo musi zostać poddane regeneracji w celu dalszej pracy prowadzone jest ogrzewanie adsorbentu do jego temperatury wrzenia i stopniowe obniżanie ciśnienia w układzie. Schemat instalacji PSA przedstawiono na rys. 3.



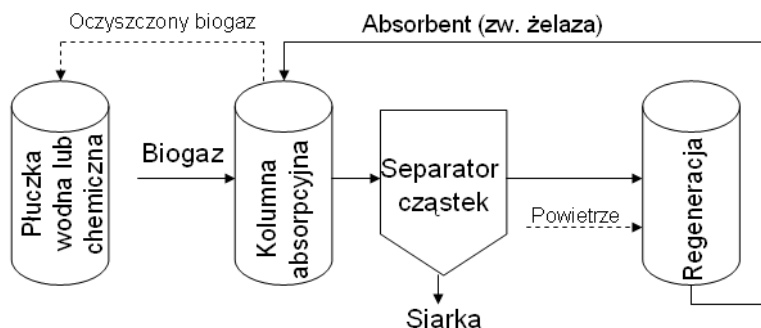
Rys. 3 Schemat funkcjonowania instalacji PSA (Mazurkiewicz et al. 2005:8)

Najczęściej stosowaną i najszerszej dostępną technikę oczyszczania biogazu stanowią płuczki wodne. Zgodnie z założeniem procesu absorpcji wykorzystywana jest tutaj różna rozpuszczalność gazów. W kolumnie płuczki ditlenek węgla jest rozpuszczany w wodzie natomiast stężenie metanu w fazie gazowej wzrasta. Dzięki temu gaz opuszczający płuczkę posiada znacznie wyższe niż początkowo stężenie metanu. Woda opuszczająca kolumnę absorpcyjną trafia do zbiornika magazynującego. Istnieją różne rodzaje płuczek, które dobierane są w zależności od rozmiarów instalacji oraz prędkości przepływu surowego gazu.

W instalacjach typu płuczki chemiczne ditlenek węgla jest wiązany na drodze reakcji chemicznej przez monoetanolaminę (MEA) lub dimetyloetanolaminę (DMEA). Zdecydowaną zaletą tej metody jest wysoka efektywność w pozyskiwaniu metanu, wadą natomiast konieczność uzupełniania fazy ciekłej na skutek jej ubytku w procesie parowania. Regeneracja fazy ciekłej zachodzi na zasadzie ogrzewania. Płuczki chemiczne wiążą także siarkowodor z wykorzystaniem związków żelaza. Ogólny zapis reakcji przebiegającej podczas omawianego procesu przebiega według wzoru:



System składa się z kolumny absorbera, separatora cząstek lub filtra oraz kolumny, w której następuje regeneracja czynnika absorpcyjnego. W kolumnie absorpcyjnej siarkowodór jest absorbowany oraz przekształcany do postaci siarki. W separatorze cząstek powstałe cząsteczki siarki są oddzielane od strumienia produktu końcowego. Ostatnim etapem procesu jest regeneracja absorbentu w kolumnie regeneracyjnej. Schemat procesu został przedstawiony na rys. 4.



Rys. 4. Schemat absorpcji chemicznej siarkowodoru
Mazurkiewicz et al. 2005:8)

Kolejną metodą oczyszczania biogazu może być zastosowanie technik membranowych. W tej metodzie filtrem rozdzielającym zanieczyszczenia takie jak ditlenek węgla i siarkowodór są membrany. Membrany działają selektywnie i mają różną przepuszczalność – tylko jeden składnik mieszaniny przechodzi przez filtr swobodnie natomiast inne są zatrzymywane ze względu na wielkość lub powinowactwo. Transport przez membrany, tak jak w przypadku zjawiska biologicznego jakim jest osmoza, zachodzi na zasadzie różnicy potencjałów po obu stronach błony. Różnica potencjałów stymuluje prędkość z jaką cząstki przechodzą przez błonę w celu wyrównania np. stężenia, ciśnienia lub temperatury. W procesach oczyszczania biogazu wykorzystywane jest również inny rodzaj membran – tzw. membrana mokra. Taki materiał charakteryzuje się jeszcze większą selektywnością. Przez błonę przepuszczany jest siarkowodór i tlen natomiast przenikalność

azotu i metanu jest nieznaczna. Proces oczyszczania przebiegający z udziałem membran często zachodzi dwuetapowo. Przed przeniknięciem gazu przez membranę, przechodzi on najpierw przez filtr, który zatrzymuje wodę, kropelki oleju i aerozoli, które wywierają negatywny wpływ na funkcjonowanie membrany i mogą spowodować jej uszkodzenie. W tabeli 3 zestawione zostały różne metody uzdatniania biogazu.

Technologia	Efekt	Stężenie metanu po procesie	Straty metanu
adsorpcja ciśnieniowa (PSA)	adsorpcja CO ₂ pod ciśnieniem na węglu aktywnym	> 96%	2-4%
płuczka wodna	rozpuszczenie CO ₂ w wodzie pod wysokim ciśnieniem	> 96%	1-3%
separacja membranowa	różna prędkość permeacji molekuł gazowych	> 95%	ok. 2%
separacja kriogeniczna	warunki agregacji w zależności od temperatury	> 99%	-

Tabela 3. Technologiczne uzdatnianie biogazu (Lechwacka 2009:12).

5. Biometan jako paliwo silnikowe

Współczesne stosowane biopaliwa silnikowe w Polsce (pierwszej generacji) w zasadzie nie spełniają optymalnych wymagań stawianych tym biopaliwom. Z racjonalnego punktu widzenia, biopaliwa jako alternatywne paliwa stosowane w silnikach konstruowanych w oparciu o właściwości paliw konwencjonalnych powinny charakteryzować się następującymi cechami:

- powinny występować w dostatecznie dużych ilościach;
- powinny cechować się technicznymi i energetycznymi właściwościami determinującymi ich przydatność do zasilania silników spalinowych;
- powinny być tanie w produkcji i sprzedaży;
- powinny stanowić mniejsze zagrożenie dla środowiska niż paliwa konwencjonalne.

Przetworzenie biogazu do jakości paliwa stosowanego dla pojazdów wiąże się z koniecznością usunięcia z gazu ditlenku węgla, siarkowodoru oraz pary wodnej ponieważ są to czynniki o działaniu korozyjnym na silnik. Przeprowadzenie tych zabiegów wymaga dodatkowych nakładów energii i przekłada się tym samym na ekonomiczność i efektywność energetyczną całego procesu począwszy od fermentacji biomasy. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że z gazu gnilnego jakim jest biogaz uzyskiwany jest gaz o stosunkowo dużej zawartości metanu, który po uszlachetnieniu znacznie zyskuje na jakości i może być określony mianem biometanu ponieważ jego parametry odpowiadają charakterystykom sprężonego gazu ziemnego (CNG). Poza właściwym wzbogaceniem gazu należy także podwyższyć jego ciśnienie do poziomu gazu znajdującego się już w sieci. W tym momencie możliwe byłoby przesyłanie tak przygotowanego biometanu do sieci gazu ziemnego. Na drodze do takiego rozwiązania stoją jednak uwarunkowania prawne oraz bariery techniczne, a także nakłady inwestycyjne, które trzeba ponieść stosując takie rozwiązanie na większą skalę.

Stosując uszlachetniony biogaz jak paliwo do silników nie można pominąć problemów przystosowania silnika do takiego paliwa. Obecnie większość znanych producentów samochodów konstruuje pojazdy napędzane gazem. Istnieją trzy rodzaje pojazdów napędzanych gazem (NGV): dedykowane, podwójne i dualne. Pojazdy dedykowane napędzane są tylko gazem ziemnym, podwójne – gazem CNG lub benzyną jako paliwem rezerwowym. Silniki na paliwo dualne są to silniki wysokoprężne, gdzie inicjowanie zjawiska samozapłonu następuje poprzez zasilanie olejem napędowym, a podstawowym paliwem jest gaz mieszany z napływającym powietrzem. W przypadku stosowania sprężonego biometanu niezbędne jest również odpowiednie jego przechowywanie – sprężony gaz ziemny przechowuje się w pojeździe w butlach zamontowanych z tyłu, pod podłogą lub na dachu pojazdu w zbiornikach ciśnieniowych gazu przy zastosowanym ciśnieniu w wysokości około 200 bar (Scholwin et al. 2007).

5.1. Dystrybucja biometanu

Dystrybucja sprężonego biometanu może odbywać się przy wykorzystaniu istniejącej infrastruktury dla stacji CNG, jednak w przypadku dystrybucji oczyszczonego biogazu należy rozważyć kilka istotnych czynników takich jak: obecność biogazowni w pobliżu stacji tankowania w celu zainstalowania dedykowanej linii lub zastosowania zbiorników przystosowanych do przechowywania paliwa, obecności sieci gazu ziemnego w danej lokalizacji, a także rodzaju pojazdów, które miałyby tankować w konkretnym punkcie dystrybucyjnym. Oczyszczony biogaz może być dostarczany do stacji paliw na trzy sposoby:

- poprzez podziemne rurociągi gazu ziemnego, co oznacza wykorzystanie istniejącej sieci i zautomatyzowanie procesu;
- poprzez sieć stworzoną specjalnie na potrzeby przesyłu uszlachetnionego biogazu z biogazowni na stację paliw. Tego typu rozwiązanie zostało zastosowane w Sztokholmie w Västerås. Biogaz z biogazowni rolniczej i oczyszczalni ścieków jest oczyszczany i wtłaczany do dedykowanej sieci gazowej (pod ciśnieniem 4 bar), która dostarcza paliwo do dwóch stacji szybkiego tankowania: stacji paliwowej dla autobusów i publicznej stacji. Ciągłość dostaw paliwa jest zabezpieczona poprzez zmagazynowanie biometanu w formie upłynnionej. W przypadku niedostatecznej ilości biogazu płynne paliwo jest odparowywane a następnie sprężane do postaci gazowej pod odpowiednim ciśnieniem (Web-01);
- biometan można dowozić również w postaci sprężonej pod określonym ciśnieniem (większym od ciśnienia napełniania pojazdu).

Aby stacja tankowania sprężonego gazu spełniała wszelkie wymagania bezpieczeństwa oraz regulacje dotyczące poszczególnych jej elementów powinna zostać wyposażona w następujący zestaw elementów (Web-01):

- filtry i separatory (odpowiedzialne za system filtrowania i osuszania gazu poprzez oczyszczanie z zanieczyszczeń stałych takich jak olej lub woda)
- kompresor gazu (podnosi ciśnienie gazu w przedziale 200-350 bar);

- magazyn sprężonego gazu (umieszczona w obudowie ochronnej butla, zbiornik lub wiązka butli o odpowiednio dobranej pojemności zgromadzonego gazu znajdującego się pod ciśnieniem 200-350 bar);
- dystrybutor (wąż zakończony szybkozłączem które łączy odbiornik z kompresorem gazu lub magazynem, wyposażony w zawory bezpieczeństwa zapobiegające przetankowaniu odbiornika gazem oraz w zawory zrywne w razie ewentualnego rozszczelnienia w układzie dystrybutor-pojazd).

Stacja, która nie jest wyposażona w zbiorniki zmagazynowanego gazu pod ciśnieniem przynajmniej 20MPa musi być włączana podczas każdego tankowania. Każde uruchomienie stacji to strata energii elektrycznej potrzebnej na rozruch i pracę urządzeń trwające niejednokrotnie ponad jedną minutę. Wyłączenie stacji powoduje, że część gazu powraca do gazociągu.

6. Biometan jako perspektywiczne źródło wodoru

Gaz otrzymany w wyniku beztlenowej fermentacji może być poddany procesowi konwersji metanu przy pomocy ditlenku węgla i użyciu różnych katalizatorów. Najważniejszą zaletą takiego procesu jest fakt, że biogaz nie musi być poddawany uzdatnianiu w celu eliminacji z jego składu ditlenku węgla. Co więcej, gaz ten jest pożądanym substratem reakcji katalizy ponieważ dzięki jego obecności otrzymywany jest czysty produkt: biowodór, innymi słowy wodór pochodzący z rozkładu biomasy. Biowodór jest natomiast cennym, a zarazem uniwersalnym nośnikiem energii. Przede wszystkim może być wykorzystywany jako biopaliwo. Przewidywany jest bowiem rozwój silników z zastosowaniem ogniw paliwowych gdzie energia elektryczna generowana jest podczas reakcji utleniania ze stale dostarczanego z zewnątrz paliwa. Zaletą takich ogniw jest przede wszystkim brak generacji szkodliwych dla zdrowia człowieka i środowiska spalin. Biowodór jako paliwo może mieć znaczny wpływ na tak istotne obecnie problemy ochrony środowiska. W egzoenergetycznym procesie łączenia wodoru z tlenem nie powstają szkodliwe dla środowiska substancje.

Biowodór wraz z biometanolem zostały także zakwalifikowane do paliw III generacji, jako paliwa dla których opracowanie technologii ich otrzymywania i wejścia na rynek paliwowy może być szacowane na lata 2030 i powyżej. Jest to propozycja dawnego Departamentu Transportu i Energetyki Komisji Europejskiej (DG TREN – obecnie rozdzielonego na dwa departamenty).

W ostatnim dziesięcioleciu nastąpił gwałtowny wzrost zainteresowania biowodorem i ogniwami paliwowymi. Rozwój takich technologii będzie zależny od postępu naukowego i technicznego w zakresie pozyskiwania i magazynowania wodoru. Kluczowe znaczenie będą miały także urządzenia zdolnych przekształcić energię z tego nośnika ponieważ energia chemiczna w nim zgromadzona musi zostać przetworzona na energię możliwą do wykorzystania w bezpośrednich zastosowaniach. Może to być energia mechaniczna, elektromagnetyczna, cieplna lub elektryczna. Wodór jako paliwo posiada także cechy niepożądane, wśród których można wymienić bardzo niską minimalną temperaturę samozapłonu, szeroki zakres stężeń mieszaniny wybuchowej, trudne warunki jego magazynowania (może być magazynowany wyłącznie w postaci gazowej), potrzeba stworzenia odrębnego systemu jego dystrybucji. Wodór posiada jednak kilka istotnych zalet dzięki którym może być atrakcyjną alternatywą dla paliw i biopaliw będących dotychczas dostępnymi w systemie dystrybucyjnym. Jego wartość opałowa jest najwyższa w porównaniu z innymi paliwami, występuje masowo na Ziemi w związkach chemicznych i może być z nich w stosunkowo łatwy sposób pozyskiwany, może być również stosowany jako paliwo w silnikach o spalaniu zewnętrznym i turbinach, ponadto jest podstawowym składnikiem ogniw paliwowych.

7. Wnioski

Wykorzystywanie biogazu jako nośnika energii (paliwa) do zastosowań stacjonarnych i zasilania środków transportu stanowić może istotny wkład dla bilansu energetycznego i ochrony środowiska, przy jednoczesnym ograniczaniu emisji GHG. W naturalnych procesach fermentacyjnych zachodzących w środowisku, niewykorzystywane

biogaz, a dokładniej jego główny składnik – metan ponad trzydzieści razy silniej niż ditlenek węgla wpływa na efekt cieplarniany. Do tego pory biogaz, głównie składowiskowy, w części tylko był wykorzystywany jako źródło energii w infrastrukturze składowiska. Ze względów bezpieczeństwa, niewykorzystywana część biogazu spalana była bezużytecznie w pochodniach. Stąd też potencjał zawarty w biogazie jako nośniku energii stanowił przesłanki do rozwijania technologii jego wytwarzania w przemysłowych instalacjach biogazowni rolniczych, z wykorzystywaniem nie tylko odpadów z hodowli, ale także biomasy i innych odpadów z przemysłu spożywczego. Niezależnie od tego, postęp technologiczny doprowadził do powstania skutecznych i ekonomicznie opłacalnych systemów oczyszczania biogazu do biometanu, co stworzyło dalsze perspektywy wykorzystywania tego nośnika nie tylko w procesach kogeneracji (energia elektryczna, ciepło), czy też poligeneracji (energia elektryczna, ciepło i chłód), ale także jako wysokowartościowego paliwa do silników spalinowych. Ta ostatnia możliwość upowszechnienia stosowania biometanu jako paliwa ma także korzystne znaczenie ze względów termodynamicznych. W każdym z procesów przekształcania energii, jej część przybiera nieodwracalną formę entropową, zmniejszającą wartość energii użytecznej (energii i entalpii swobodnej) o wartość $T\Delta S$. Stąd też sumaryczna wartość entropii w procesach wykorzystywania biogazu jako nośnika energii do wytwarzania energii elektrycznej jest większa niż przy stosowaniu biometanu jako paliwa silnikowego.

Upowszechnianie wykorzystywania biogazu jako korzystnego środowiskowo paliwa silnikowego i rozwój technologii jego oczyszczania stanowi temat wiodący programów europejskich, takich jak „Biogas HighWay”, „Baltic Biogas Buses”, „BiogasMax”, czy też „Eureka Biogasfuel”.

Jak wykazano w artykule, biogaz może także stać się perspektywicznym źródłem wytwarzania wodoru (biowodoru), co przy dużym potencjale surowcowym w zakresie możliwości wytwarzania biogazu, może doprowadzić do rozwoju aplikacji wykorzystujących biowodór z korzyścią dla procesów związanych ze zmniejszaniem negatywnych oddziaływań na środowisko.

Bibliografia

Literatura:

- Biogas as a Road transport fuel, National Society for Clean Air and Environmental Protection, 2006;
- EC BREC, 2003. Odnawialne źródła energii jako element rozwoju lokalnego;
- EC BREC/IBMER, Ekonomiczne i prawne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Polsce, Warszawa, 2000;
- Główny Urząd Statystyczny, Informacje i Opracowania Statystyczne, *Ochrona Środowiska*, Warszawa 2008;
- Główny Urząd Statystyczny, Informacje i Opracowania Statystyczne, *Ochrona Środowiska*, Warszawa 2009;
- Heidrich Z. *Stabilizacja beztlenowa osadów ściekowych*, Warszawa 1999;
- Lechwacka M., *Technologie uszlachetniania biogazu do jakości gazu ziemnego*, *Czysta Energia* nr 12/2009;
- Lewandowski W.M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Wyd. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2007;
- Mapa Odnawialnych Źródeł Energii*, opracowana przez Urząd Regulacji Energetyki, dane aktualne na dzień 31 grudnia 2009;
- Mazowiecka Agencja Energetyczna, *Biogaz rolniczy-produkcja i wykorzystanie*, 2009;
- Mazurkiewicz M. i inni; *Metody separacji i wychwytywania CO₂*, *Polityka Energetyczna*, tom 8, 2005;
- Misiaczyk B., *Biogaz rolniczy*, <http://www.agroenergetyka.pl/?a=article&id=35>;
- Oniszk-Popławska., Owsik M., Wiśniewski G., *Produkcja i wykorzystanie biogazu rolniczego*, EC BREC, 2003;
- Petersson A., Wellinger A., *Biogas upgrading technologies – developments and innovations*, IEA Bioenergy, Szwecja, 2009;
- Rembowski Ł., *Potencjał ilości biomasy ze źródeł rolniczych i przemysłowych w Polsce*, Redakcja agroenergetyka.pl: <http://agroenergetyka.pl/?a=article&id=512>;
- Scholwin F., Gattermann H., A Schattauer, P. Weiland Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, *Biogaz produkcja, wykorzystanie* (tłumaczenie na język polski);
- Żmuda K., Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, *Energetyka odnawialna w polityce*, Chęciny, 2009;
- Żmuda K., Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, *Energetyka odnawialna w polityce Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi*, Bydgoszcz 2009.

Akty prawne:

- (A) Główny Urząd Statystyczny, *Rolnictwo w 2008*, Warszawa 2009;
- (B) Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE;
- (C) Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 maja 2003 r. w sprawie zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z od-

- nawialnych źródeł energii oraz energii wytwarzanej w skojarzeniu (Dz. U. 2003, nr 104, poz.971);
- (D) Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz.U. 06 Nr 169, poz.1199).

Witryny internetowe:

- (Web-01) www.elpigaz.com – Gazowe Układy Zasilania, dostęp 2.02.2012
- (Web-02) www.biogasmx.eu, dostęp 31.01.2012
- (Web-03) www.biogaz.com.pl, dostęp 13.02.2012
- (Web-04) www.czysta-energia.ovh.org/biogaz.html#wykorzystaniebiogazu
- (Web-05) Redakcja [agroenergetyka.pl](http://agroenergetyka.pl/?a=article&id=149): <http://agroenergetyka.pl/?a=article&id=149>,
Pozyskiwanie biogazu z odpadów komunalnych, dostęp 27.02.2012
- (Web-06) Redakcja agroenergetyka.pl: <http://agroenergetyka.pl/?a=article&id=529>,
Produkcja biogazu w oczyszczalni ścieków, dostęp 27.02.2012
- (Web-07) Redakcja agroenergetyka.pl: <http://agroenergetyka.pl/?a=article&id=147>,
Produkcja energii w biogazowni rolniczej, dostęp 27.02.2012

**The current state and prospects of using biogas
as an energy carrier for stationary and transport applications**

SUMMARY

Both governmental and international programs support the promotion of biofuels and aim to increase the limit of renewable energy used in the fuel-energy balance. Biogas is produced during the anaerobic methane fermentation process and it is known as a significant source of renewable energy, contributing to agriculture and environmental protection. Three types of biogas can be distinguished: biogas from sewage sludge, biogas collected from landfills and agricultural biogas. There are several possibilities of using upgraded biogas. Biogas can be used in cogeneration systems to provide heat and electricity, in transportation as a motor fuel and in the production of biohydrogen. Biogas upgrading process leads to a product which is characterized by the same parameters as compressed natural gas. Direct biogas use in the production of hydrogen is possible because of prior purification from traces like hydrogen sulphide, except carbon dioxide, by which the reaction can proceed in the desired manner.