

Jadwiga Holewa, Ewa Kukulska-Zajac
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Magdalena Pęgielska
Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A.

Analiza możliwości wprowadzania biogazu do sieci przesyłowej

Wstęp

Wyczerpywanie się konwencjonalnych paliw energetycznych skłania człowieka do poszukiwań alternatywnych, odnawialnych źródeł energii. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii stało się więc czymś oczywistym, cennym i pożądanym. Wiadomo, że wzrost udziału tych źródeł w bilansie paliwowo-energetycznym świata znacząco przyczyni się do poprawy stanu środowiska. Unia Europejska wspiera wykorzystanie biogazu jako odnawialnego źródła energii, przez co zyskuje on znaczącą rolę w strategii energii odnawialnej.

Aktualnie większość produkowanego w Europie biogazu spalana jest w agregatach kogeneracyjnych w celu produkcji energii elektrycznej i ciepła. Ze względu na to, że biogazownie budowane są w znacznej odległości od terenów zabudowanych, poziom wykorzystania wytworzonego ciepła jest niezadowalający. Rozwiązaniem pozwalającym na zwiększenie efektywności wykorzystania biogazu jest jego przesył siecią gazową bezpośrednio do

miejsc, w których energia elektryczna i ciepło z jednostek kogeneracyjnych są wykorzystywane, co pozwala na uniknięcie strat energii. Zatlaczanie biogazu do sieci przesyłowej może być jednym z kluczowych rozwiązań wzmocnienia rynku biogazu.

W chwili obecnej brak jest międzynarodowych uregulowań prawnych, które określałyby zakres praw i obowiązków stron zainteresowanych wprowadzaniem biogazu do sieci gazowych, w tym sieci przesyłowej. Obowiązujące regulacje zalecają lub dopuszczają wtłaczanie biometanu do istniejącej infrastruktury gazowej, pod warunkiem, że jego skład jest taki sam jak jakość surowca przesyłanego i że nie zawiera on substancji lub składników przypuszczalnie szkodliwych dla przyjmującej go infrastruktury gazowej. Producenci biogazu muszą więc dostarczać produkt o tej samej jakości co gaz przesyłany gazociągami. Postawione warunki brzegowe stanowią istotną barierę utrudniającą wprowadzanie biogazu do sieci.

Doświadczenia europejskie w zatlaczaniu biogazu do sieci, w tym sieci przesyłowej

Instytucje Unii Europejskiej poprzez prowadzoną działalność legislacyjną wskazały, że biogaz i biometan mogą i powinny być stosowane na szeroką skalę – w produkcji energii elektrycznej, jako paliwo w transporcie oraz jako paliwa gazowe wtłaczane do istniejącej sieci gazociągów. *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/73/WE z dnia 13 lipca 2009 roku* zawiera wspólne zasady dla rynków wewnętrznych gazu ziemnego i obliguje państwa członkowskie do tego, by umożliwiły zatlaczanie biogazu

do sieci gazowych, a biogaz jako paliwo nie był dyskryminowany w dostępie do systemu gazowego. Brak szczegółowych uregulowań prawnych na poziomie europejskim pozwala, aby kwestie związane z przesyłaniem biogazu sieciami gazowymi realizować w różny sposób w różnych państwach. Brak regulacji na poziomie Unii Europejskiej, które jasno precyzowałyby prawa i obowiązki zarówno producenta biogazu, jak i operatora sieci, którą biogaz ma być transportowany, jak również brak jednolitych

Tablica 1. Szczegółowe wymagania dotyczące parametrów jakościowych w przypadku zatłaczania substytutów gazu ziemnego do sieci gazu ziemnego w wybranych krajach europejskich [4, 10, 12]

Cecha	Kraj	Polska	Niemcy	Szwajcaria	Szwecja	Francja	Austria	Holandia
Metan [%]		1)	1)	>96 ²⁾ >50 ³⁾	>97	1)	>96	>85
Tlenek węgla(IV) [%]		1)	<6	<4 ²⁾ <6 ³⁾	<3	<2	<3	1)
Tlenek węgla(II) [%]		1)	1)	1)	1)	<2	1)	1)
Siarka całkowita [mg/m ³]		<40	<30	<30	<23	<75	<10	<45
Siarkowodór [mg/m ³]		<7	<5	<5	10 ppm	<5	<5	<5
Merkaptany [mg/m ³]		<30	<15	1)	1)	<6	<6	1)
Tlen [%]		<0,2	<3 ⁴⁾ , <0,5	<0,5	<1	100 ppm	<0,5	<0,5
Wodór [%]		1)	<5	<5	<0,5	<6	<4	1)
Zanieczyszczenia		1)	1)	5)	1)	5)	5)	1)
Chlorowcopochodne [mg/m ³]		1)	Brak	1)	1)	Cl < 1 F < 10	0	<25
Amoniak [mg/m ³]		1)	1)	1)	<20	1)	5)	<3
Pył [mg/m ³]		1	Brak	1)	1)	1)	5)	Brak
Rtęć [μg/m ³]		<30	1)	1)	1)	<1	1)	1)
Siloksany [mg/m ³]		1)	1)	1)	1)	1)	<10	1)

1) Brak limitu.

2) Wartość dla wprowadzania Nielimitowanego, gdzie ilość zatłaczanego do sieci biogazu nie jest w żaden sposób ograniczona.

3) Wartość dla wprowadzania limitowanego, gdzie wprowadzony do sieci biogaz ma określony udział w mieszaninie gazowej biogaz-gaz ziemny.

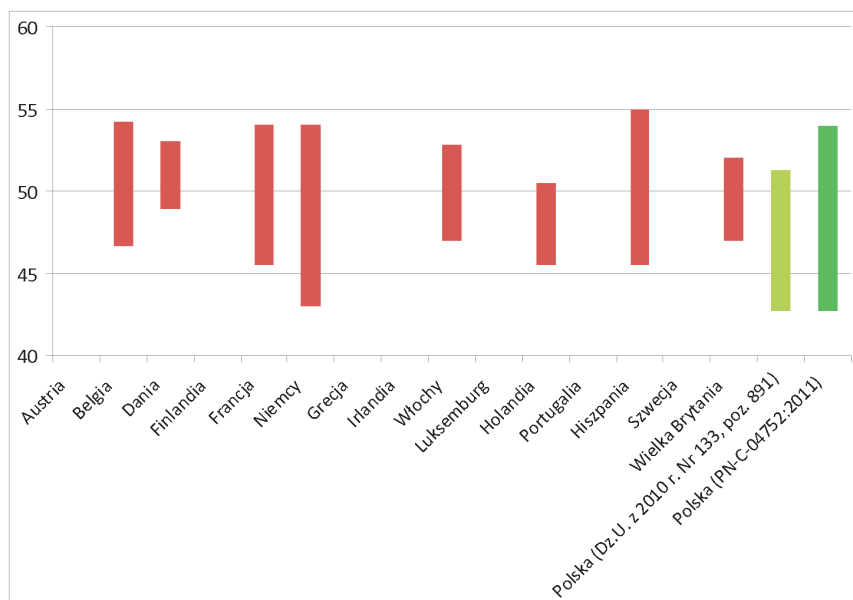
4) Dla suchej sieci.

5) Technicznie czysty.

międzynarodowych standardów określających warunki techniczne zatłaczania biogazu do sieci skutkuje brakiem jednolitych przepisów w Europie.

W związku z tym w różnych państwach europejskich różne są wymagania jakościowe stawiane biogazowi zatłaczanemu do sieci. Różnice dotyczą nie tylko dopuszczalnych limitów dla poszczególnych zanieczyszczeń mogących występować w biogazie, ale również tego, jakich substancji obecność jest limitowana. Zestawienie tych wymagań dla przykładowych siedmiu państw europejskich, w tym Polski, przedstawiono w tablicy 1.

We wszystkich państwach, w których biogaz może być wprowadzany do sieci, określone są również dopuszczalne zakresy zmienności liczby Wobbego (rysunek 1).



Rys. 1. Zakres dopuszczalnej zmienności liczby Wobbego w krajach europejskich [3, 9, 10]

Wartości przedstawione na wykresie określono dla następujących warunków odniesienia: ciśnienia 101,325 kPa, temperatury dla procesu spalania 298,15 K, dla pomiaru objętości 273,15 K.

Z danych przedstawionych w tabelicy 1 wynika, że w poszczególnych państwach stawiane są różne wymagania dotyczące jakości zatłaczanego biogazu. W zależności od jego parametrów jakościowych niektóre państwa decydują się na zatłaczanie go w sposób limitowany i nielimitowany do różnego typu sieci gazowych; zarówno przesyłowych, jak i dystrybucyjnych czy lokalnych sieci służących wyłącznie do transportu biogazu.

Dania nie dopuszcza możliwości zatłaczania biogazu do sieci gazu ziemnego, zarówno przesyłowych, jak i dystrybucyjnych, a jedynie do wyodrębnionych sieci służących wyłącznie do transportu biogazu [5]. Inaczej sytuacja wygląda w przypadku Austrii czy Szwajcarii, gdzie biogaz może być zatłaczany do sieci dystrybucyjnej gazu ziemnego [8, 13]. Z kolei Niemcy są państwem, które stwarza możliwość wprowadzenia biogazu do sieci przesyłowej, jednak zatłaczany w ten sposób może być wyłącznie biogaz rolniczy [14–16]. W kraju tym produkcja i wykorzystanie biogazu jest mocno wspierane przez mechanizmy państwowe, które gwarantują pierwszeństwo w dostępie do sieci energetycznej i gazowej odnawialnym źródłom energii. Zgodnie z zapisami obowiązującego w Niemczech rozporządzenia o dostępie do sieci, większość kosztów związanych z wprowadzeniem do niej biogazu, takich jak sprężanie gazu, budowa przyłącza gazowego i stacji

kontrolnej oraz dostosowanie parametrów energetycznych biogazu, ponosi operator sieci gazowej. Udział producenta biogazu w kosztach inwestycji zależy od długości przyłącza gazowego i z reguły nie przekracza 25% kosztów całej inwestycji [11]. Jednak wszystkie wymienione koszty, jakie ponosi operator sieci, są kompensowane zwiększeniem opłat za energię dla odbiorców końcowych. Biogaz wprowadzany do sieci w Niemczech musi spełniać wymagania jakościowe stawiane gazom ziemnym, które zostały przedstawione w specyfikacji technicznej dotyczącej jakości gazu (DVGW G 260), oraz wymagania zawarte w dokumencie DVGW G 262, dotyczącym korzystania z gazu ze źródeł odnawialnych w sektorze publicznym dostaw gazu, który limituje zawartość w biogazie takich składników jak tlenek węgla(IV) i wodór [1]. Wprowadzanie biogazu do sieci w Niemczech odbywa się na dwa sposoby. Pierwszy z nich pozwala na wprowadzenie do sieci gazu H (gazu o zbliżonych właściwościach do gazu E) dowolnej (nielimitowanej) ilości biogazu w przypadku, gdy spełnia on wymagania stawiane gazom ziemnym i gazom ze źródeł odnawialnych. Gdy natomiast gaz nie spełnia tych wymagań, można wprowadzić go do sieci w drugi, limitowany sposób. Jednak w takim przypadku ilość wprowadzanego biogazu musi być tak dobrana, by powstała mieszanina gaz ziemny–biogaz spełniała te wymagania.

Źródła biogazu, jego jakość i wartości kaloryczne

Podstawowymi, antropogenicznymi źródłami biogazu są składowiska odpadów, oczyszczalnie ścieków oraz specjalnie skonstruowane biogazownie, które przetwarzają odpady rolnicze oraz odpady pochodzące z przemysłu spożywczego. Sposób wytwarzania biogazu, jak i jakość stosowanych do jego produkcji surowców ma istotny wpływ na jakość i ilość otrzymywanego biogazu. Technologie wytwarzania biogazu mogą także cechować się większą lub mniejszą stabilnością wytwarzanego biogazu, zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym.

Biogaz zawiera podstawowe składniki takie jak: metan, dwutlenek węgla, tlen, azot i siarkowodór. Jednak w zależności od źródła i produktów, z jakich wytwarzany jest biogaz, proporcje tych składników mogą się w istotny sposób zmieniać, a w konsekwencji otrzymany biogaz może różnić się parametrami energetycznymi. Różnice w składzie

i wartościach kalorycznych biogazu pochodzącego z trzech podstawowych źródeł przedstawiono w tabelicy 2.

Tablica 2. Skład i wartości kaloryczne biogazu z trzech podstawowych źródeł [2, 6]

Składnik biogazu	Składowiska odpadów	Oczyszczalnie ścieków	Biogazownie rolnicze
Metan [%]	45÷65	57÷65	53÷85
Dwutlenek węgla [%]	25÷35	32÷37	14÷48
Tlen [%]	<3	<1	<1
Azot [%]	10÷20	0,2÷0,4	0,5÷7,5
Wartość opałowa [MJ/m ³]	16÷23,5	20,5÷23,5	18,7÷30,6

Obok podstawowych składników biogaz może zawierać szereg zanieczyszczeń. Niektóre z nich, takie jak: siarkowodór, związki siarki, pyły czy para wodna, występują również w gazie ziemnym. Z reguły jednak ich zawartość w gazie ziemnym jest o wiele niższa niż w biogazie. Dodatkowo biogaz może zawierać szereg innych zanieczyszczeń, niewystępujących w typowych gazach ziemnych, a które mogą negatywnie wpływać zarówno

na infrastrukturę transportową gazu, jak i bezpieczeństwo jego odbiorców. Tego typu zanieczyszczeniami są m.in.: siloksany, chlorowcopochodne węglowodorów, amoniak czy mikroorganizmy. Zagrożenia dla zdrowia odbiorców gazu oraz infrastruktury przesyłowej tego paliwa związane

z występującymi w biogazie zanieczyszczeniami przedstawiono w tabelicy 3.

Poprawa jakości biogazu i jego parametrów energetycznych jest możliwa dzięki dostępnym na rynku technologiom oczyszczania i uzdatniania biogazu.

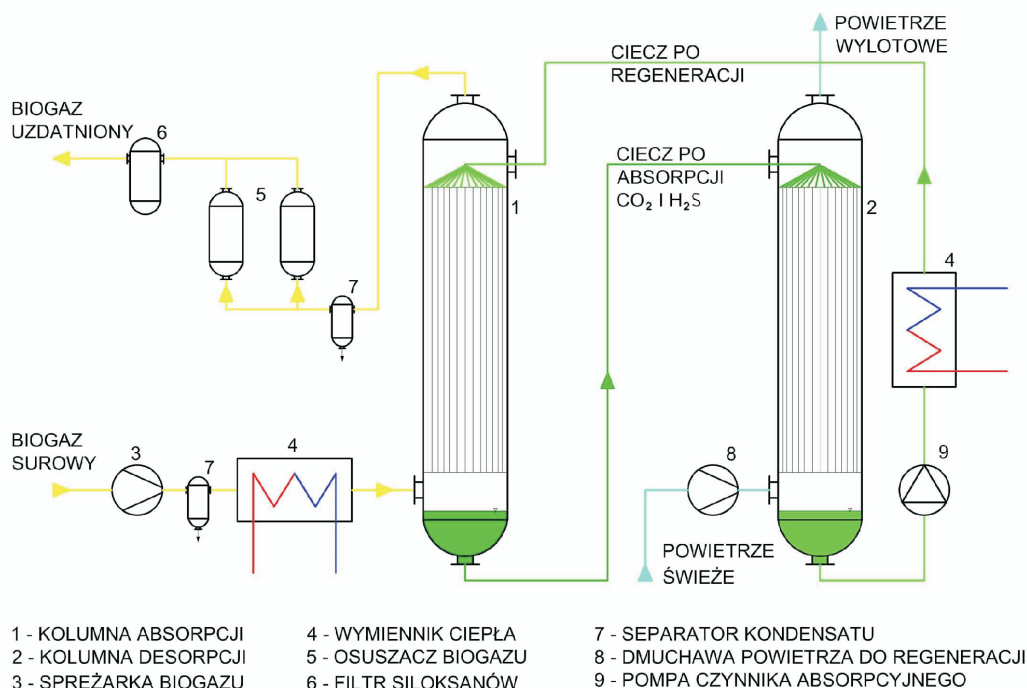
Tablica 3. Zagrożenia związane z zanieczyszczeniami występującymi w biogazie [12]

Zanieczyszczenie	Zagrożenie dla zdrowia odbiorców gazu	Zagrożenie dla infrastruktury przesyłowej i urządzeń wykorzystujących biogaz
Siloksany	Nie wpływa negatywnie	Powstawanie krzemionki przy spalaniu
Czynniki biologiczne	Możliwość obecności patogenów	Biokorozja sieci gazowej
Amoniak	Toksyczny gaz	Korozja
Fluorowcopochodne węglowodorów	Powstawanie dioksyn i furanów przy spalaniu	Korozja
Węglowodory aromatyczne	Toksyczne, rakotwórcze	Niszczenie plastików i elastomerów, w trakcie spalania powstaje sadza
Tlenek węgla(II)	Toksyczny gaz	Nie wpływa negatywnie
Wodór	Zagrożenie związane ze zmianą parametrów spalania	Korozja, bezpieczeństwo i wydajność urządzeń gazowych, wpływ na procesy przemysłowe

Oczyszczanie i uzdatnianie biogazu

Ze względu na obecność zanieczyszczeń bezpośrednie wykorzystanie wytworzonego w procesie fermentacji biogazu jest właściwie niemożliwe. Biogaz jest zazwyczaj wykorzystywany do wytwarzania energii cieplnej w kotłach lub do produkcji energii elektrycznej i cieplnej w skojarzeniu. Oczyszczanie biogazu w takich instalacjach sprowadza się do usuwania siarkowodoru i pary wodnej,

odpowiedzialnych za korozję i obniżenie żywotności urządzeń energetycznych. Aby natomiast wytworzony biogaz można było wtłoczyć do sieci gazowej lub wykorzystać do napędu pojazdów należy usunąć z niego dwutlenek węgla, siarkowodór, siloksany oraz należy go osuszyć. Przykładowy schemat instalacji technologicznej służącej do oczyszczania biogazu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowy schemat instalacji oczyszczania i sprężania biogazu [7]

Stosując odpowiednie technologie oczyszczania biogazu, można uzyskać gaz o zawartości metanu powyżej 95%. Tak oczyszczony biogaz nazywany jest biometanem. Biometan może być bezpiecznie zatłaczany do sieci oraz wykorzystywany do produkcji energii, nawet w ogniach paliwowych czy mikroturbinach, które wymagają gazu pozbawionego zanieczyszczeń. Ze względu jednak na to, że uzyskanie biometanu jest procesem kosztownym, stosowane technologie oczyszczania biogazu powinny być odpowiednio dobrane do planowanego sposobu jego wykorzystania (rysunek 3).

Innym niż oczyszczanie sposobem poprawy parametrów biogazu, głównie energetycznych, jest jego uzdatnianie. Proces ten polega na mieszaniu biogazu z innym gazem o lepszych parametrach energetycznych i mniejszej zawartości zanieczyszczeń. Najczęściej do tworzenia takich mieszanin stosowany jest gaz propan-butan lub gaz ziemny. Proporcje mieszania obu gazów są tak dobierane, aby uzyskać założone parametry energetyczne sporządzonej mieszaniny. W procesie uzdatniania biogazu poza uzyskaniem odpowiednich parametrów energetycznych otrzymuje się

również mieszaninę o mniejszej zawartości zanieczyszczeń niż wyjściowy biogaz, z którego mieszanina została przygotowana. Uzdatnianie biogazu jest o wiele tańszym niż oczyszczanie sposobem uzyskania biogazu o parametrach pozwalających na bezpieczne zatłoczenie mieszaniny do sieci przesyłowej. Należy jednak zaznaczyć, że proces uzdatniania biogazu może wymagać dodatkowo oczyszczenia go z pary wodnej i siarkowodoru, ze względu na fakt, że związki te posiadają silne właściwości korozyjne.

Badania parametrów biogazu wytwarzanego w Polsce

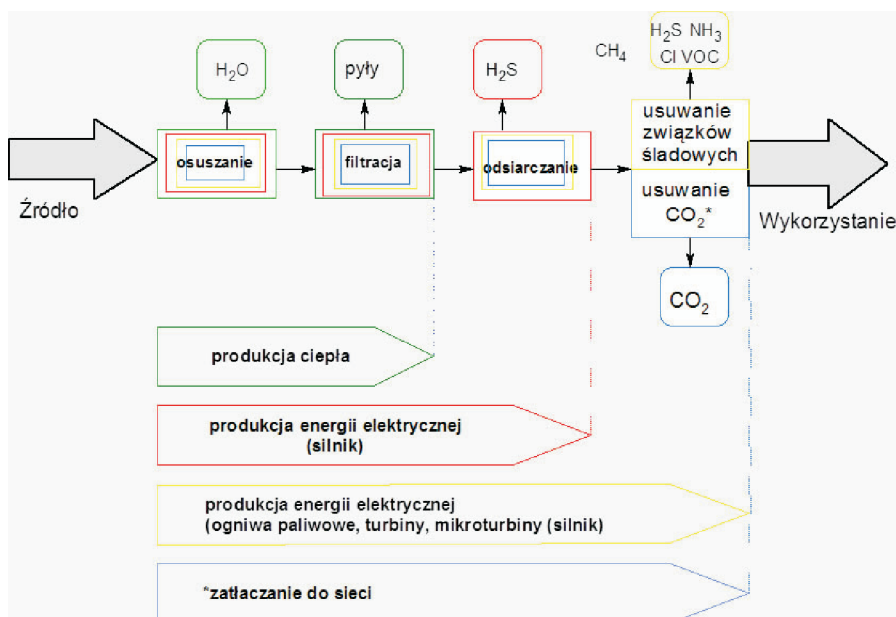
Badania parametrów energetycznych biogazu w Polsce prowadzono na ośmiu obiektach, z których pięć stanowiły oczyszczalnie ścieków, dwa – składowiska odpadów oraz jeden – biogazownia rolnicza. Większość badanych obiektów wyposażona była w instalacje oczyszczania biogazu, które pozwalały na osuszenie i odsiarczenie produkowanego biogazu przed wykorzystaniem go do produkcji ciepła i/lub energii elektrycznej. Na siedmiu z badanych obiektów otrzymywany biogaz był wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej lub ciepła użytkowego. W ramach przeprowadzonych badań wyznaczono parametry energetyczne biogazu oraz

ich dobową zmienność. Parametry energetyczne biogazu otrzymywanego na wszystkich ośmiu badanych obiektach zebrano w tabelicy 4.

Tabelica 4. Parametry energetyczne biogazu w [MJ/m³], wartość średnia z minimum 5 pomiarów*

Symbol obiektu	Wartość opałowa	Ciepło spalania	Liczba Wobbego
Oczyszczalnia 1	23,33	25,90	27,42
Oczyszczalnia 2	21,72	24,10	24,90
Oczyszczalnia 3	22,12	24,55	25,51
Oczyszczalnia 4	24,12	21,74	25,32
Oczyszczalnia 5	24,60	22,17	25,56
Składowisko 1	19,18	17,29	19,59
Składowisko 2	20,63	18,59	21,19
Biogazownia	21,34	19,23	21,36

*niepewność wyznaczenia średniej, obliczona na podstawie odchylenia standardowego, nie przekracza 2% dla wartości opałowej i ciepła spalania oraz 2,5% dla liczby Wobbego.



Rys. 3. Dobór metod oczyszczania biogazu pod kątem jego zastosowania

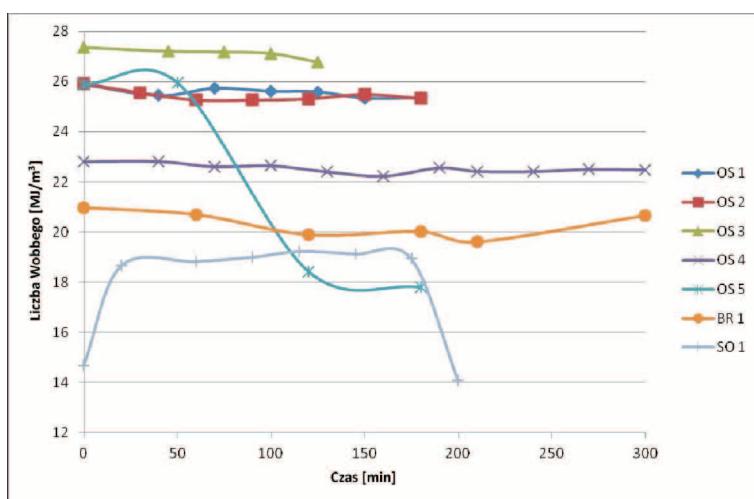
Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że biogaz w żadnym z badanych przypadków nie spełnia wymagań dla parametrów energetycznych zawartych w *Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 2 lipca 2010 roku w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu gazowego* (Dz.U. z 2010 r. Nr 133, poz. 891); ani dla gazu E, ani dla gazu Lw. Biogaz z oczyszczalni 1 spełnia wymagania dotyczące gazu typu Ln, natomiast z oczyszczalni 4 – wymagania dotyczące gazu z grupy Lm. Jednakże gazy tego typu nie są w chwili obecnej transportowane w polskiej sieci przesyłowej. Biogaz z pozostałych źródeł nie spełnia wymagań dla żadnego typu gazów wymienionych w tym rozporządzeniu, czyli nie może być transportowany siecią przesyłową bez wcześniejszego oczyszczenia i/lub uzdatnienia.

Ważnymi czynnikami, które decydują o możliwości wprowadzenia biogazu do sieci, są stabilność jego składu i parametrów energetycznych w czasie. W celu określenia zmienności krótkoterminowej badano skład biogazu po oczyszczeniu, w trzydziestominutowych odstępach czasu. Uzyskane wyniki badań zestawiono w tablicy 5 oraz na rysunkach 4 i 5.

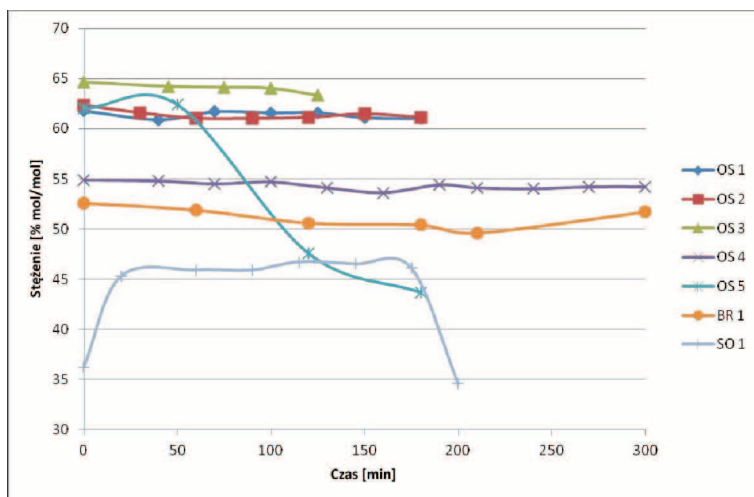
Analiza wyników badań pozwoliła na stwierdzenie, iż największą stabilność parametrów energetycznych wykazywał biogaz z oczyszczalni ścieków (zmienność mieściła się na ogół w granicach 1%). Mniejszą stabilnością parametrów energetycznych charakteryzował się biogaz pochodzący z biogazowni rolniczej, pomimo tego, że proces fermentacji jest tam ściśle kontrolowany. Parametry energetyczne zmieniały się w zakresie do 3,0%. Niestabilny energetycznie okazał się natomiast gaz ze składowiska odpadów (SO 1), charakteryzujący się ponad 10-procentową zmiennością parametrów energetycznych, jak również gaz pochodzący z jednej z oczyszczalni ścieków (OS 5), co najprawdopodobniej może być spowodowane małą wydajnością tych źródeł biogazu.

Tablica 5. Badanie zmienności biogazu na wybranych obiektach

Obiekt		Metan [%]	Ciepło spalania [MJ/m ³]	Liczba Wobbego [MJ/m ³]
Oczyszczalnia 1	Zakres	60,9÷61,8	24,3÷24,6	25,3÷25,9
	Zmienność RSD [%]	0,6	0,6	0,8
Oczyszczalnia 2	Zakres	61,0÷62,3	24,4÷24,9	25,3÷25,9
	RSD [%]	0,7	0,7	1,0
Oczyszczalnia 3	Zakres	63,3÷64,6	25,2÷25,8	26,8÷27
	RSD [%]	0,7	0,7	0,8
Oczyszczalnia 4	Zakres	53,6÷54,9	21,4÷21,9	22,2÷22,8
	RSD [%]	0,7	0,7	0,8
Oczyszczalnia 5	Zakres	43,7÷62,4	17,4÷24,9	17,8÷26
	RSD [%]	17,8	17,9	19,8
Składowisko 1	Zakres	34,6÷46,7	13,8÷18,6	14,1÷19,2
	RSD [%]	11,5	11,5	12,0
Biogazownia 1	Zakres	49,6÷52,6	19,8÷21,0	19,6÷21,0
	RSD [%]	2,4	2,4	2,9



Rys. 4. Zmienność liczby Wobbego wyznaczonej dla biogazu



Rys. 5. Zmienność zawartości metanu w biogazie

Podsumowanie i wnioski

W chwili obecnej w Europie i w Polsce brak jest jednolitych rozwiązań w zakresie zatłaczania biogazu do sieci. Zatłaczanie biogazu do sieci w państwach europejskich realizowane jest w różny sposób. Wykorzystywane do tego celu są zarówno sieci wysokiego, jak i niskiego ciśnienia, w tym sieci lokalne, przeznaczone tylko do transportu biogazu. Europejskim państwem, które stwarza możliwość zatłaczania biogazu do sieci przesyłowej są Niemcy.

Poszczególne państwa mają też różne wymagania dotyczące jakości zatłaczanego do sieci biogazu. Aby biogaz mógł być bezpiecznie zatłaczany do sieci, potrzebne jest jego źródło charakteryzujące się dużą stabilnością, zarówno pod względem ilości, jak i jakości produkowanego biogazu. Produkowany w stabilnych warunkach biogaz może być z dobrym skutkiem oczyszczony lub uzdatniony w taki sposób,

by osiągnął wymagane parametry jakościowe. Jednak należy liczyć się z tym, że technologie oczyszczania biogazu są kosztowne zarówno na etapie inwestycji, jak i eksploatacji.

Przeprowadzone w Polsce badania dotyczące parametrów energetycznych charakteryzujących polski biogaz wykazały, że niezależnie od źródła pochodzenia nie spełnia on wymagań dla gazu E i Lw, które obecnie są transportowane siecią przesyłową. W związku z tym biogaz przed zatłoczeniem do sieci musi zostać poddany procesowi oczyszczania lub uzdatniania oraz sprężania. Procesy te nie powinny być trudne do przeprowadzenia, gdyż badane źródła biogazu charakteryzują się stosunkowo wysoką stabilnością. Bezpieczne wprowadzanie biogazu do sieci wymaga jednak dodatkowo określenia zawartości w nim substancji śladowych.

Literatura

- [1] DVGW G 262 *Nutzung Von Gasen Aus Regenerativen Quellen In Der Oeffentlichen Gasversorgung*.
- [2] Grzybek A.: *Ekspertyza – Ocena strategii rozwoju energetyki odnawialnej oraz kierunki rozwoju energetycznego wykorzystania biogazu wraz z propozycją działań*. Warszawa 2005.
- [3] Hagen M., Myken A., Jönsson O.: *Adding gas from biomass to the gas grid*. Final Report Contract no: XVII-/4.1030/Z/99-412, 2009.
- [4] Huguen P.: *Perspectives for a European standard on biomethane: a Biogasmax proposal*. 2010.
- [5] Jensen J. K.: *Biogas and natural gas fuel mixture for the future*. 1st World conference and exhibition on biomass for energy and industry, Sevilla, 2000.
- [6] Kalina J., Skorek J.: *Paliwa gazowe dla układów kogeneracyjnych*. Materiały konferencyjne *Elektroenergetyka w procesie przemian*.
- [7] Kowalczyk-Juśko A.: *Przegląd technologii produkcji biogazu*. „Czysta Energia” 2009, nr 9 (95).
- [8] Persson M., Wellinger A.: *Biogas upgrading and utilisation*. 2006.
- [9] PN-C-04752:2011 *Gaz ziemny. Jakość gazu w sieci przesyłowej*.
- [10] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 2 lipca 2010 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu gazowego* (Dz.U. z 2010 r. Nr 133, poz. 891).
- [11] *Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen (Gasnetz Zugangsverordnung – GasNZV) vom 3. September 2010* (BGBl. I S. 1261).
- [12] WG-biogas-06-18 *Final Recommendation. Injection of Gases from Non-Conventional Sources into Gas Networks*. Marcogaz, 2006.
- [13] www.biogaspartner.de/index.php?id=11510&L=1&fs=0&fiframed=true, dostęp: październik 2011 r.
- [14] <http://www.gasunie.de/en/main-menu/erdgastransport/network-access/feed-in-of-upgraded-biogas>, dostęp: lipiec 2012 r.
- [15] http://www.gtg-nord.de/en/network_connection/biogas.php, dostęp: lipiec 2012 r.
- [16] http://www.wingas.de/1463.html?&L=1&no_cache=1&sword_list, dostęp: lipiec 2012 r.



Dr Ewa KUKULSKA-ZAJĄC – stopień doktora uzyskała na Wydziale Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego. Pracuje w Zakładzie Ochrony Środowiska Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Zajmuje się zagadnieniami dotyczącymi ochrony środowiska w górnictwie nafty i gazu, ograniczenia emisji gazów cieplarnianych oraz wykorzystania biogazu.



Mgr inż. Magdalena PĘGIELSKA – absolwentka Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Obecnie zatrudniona w firmie Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A. na stanowisku Specjalista ds. Nowych Technologii. Zajmuje się tematyką wykorzystania biogazu przez użytkowników gazu ziemnego oraz zagadnieniem emisji metanu z elementów systemu przesyłowego.