

## Analiza możliwości zasilania certyfikowanych urządzeń gazowych uzdatnionym biogazem rolniczym

### Analysis of the possibility of supplying certified gas devices with treated agricultural biogas

Robert Wojtowicz

*Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

**STRESZCZENIE:** Głównym celem prowadzonych analiz było sprawdzenie, czy dostępne na rynku certyfikowane urządzenia gazowe użytku domowego i komercyjnego (urządzenia wykorzystywane w zakładach gastronomicznych) można zasilać częściowo oczyszczonym biogazem rolniczym lub mieszaniną takiego biogazu z gazem ziemnym wysokometanowym grupy E lub gazem z regazyfikacji LNG. Aby odpowiedzieć na to pytanie, rozważono sytuację, w której biogaz rolniczy zostanie wstępnie oczyszczony z najbardziej niepożądanych zanieczyszczeń i docelowo będzie gazem składającym się z metanu ( $\text{CH}_4$ ), dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) i tlenu ( $\text{O}_2$ ). Rozpatrywano cztery różne składy biogazu rolniczego, w których zawartość  $\text{CH}_4$  zmieniała się od 70% do 85%, natomiast  $\text{CO}_2$  – od 14,8% do 29,8%. Obliczone parametry energetyczne, a w zasadzie liczbę Wobbego tych biogazów, porównywano następnie z wartościami nominalnej liczby Wobbego gazów ziemnych grup Ln, Ls i Lw, podanymi w polskich przepisach prawnych. Innym rozpatrywanym wariantem było mieszanie częściowo oczyszczonego biogazu rolniczego z gazem ziemnym wysokometanowym grupy E lub gazem z regazyfikacji LNG w takich proporcjach, aby powstałe mieszaniny osiągnęły minimalne wymagania energetyczne dla gazów ziemnych grup Ls, Lw i E oraz minimalne i maksymalne wymagania energetyczne dla gazu ziemnego grupy S (gaz zawierający w swoim składzie  $\text{CO}_2$  rozprowadzany na Węgrzech). Określono proporcje mieszania tych gazów, podano potencjalne składy powstałych mieszanin, ich parametry energetyczne oraz ciśnienia zasilania urządzeń końcowych spalających te mieszaniny. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń podano, które kategorie urządzeń można potencjalnie wykorzystać do zasilania ich bądź to częściowo oczyszczonym biogazem, bądź też jego mieszaninami z gazem ziemnym wysokometanowym grupy E lub gazem z regazyfikacji LNG. Opisano również, jakie ewentualne zmiany będą konieczne w takich urządzeniach, aby można je było bezpiecznie użytkować po zmianie gazu.

Słowa kluczowe: biogaz, biogaz rolniczy, mieszaniny biogazu i gazu ziemnego, mieszaniny biogazu i gazu LNG.

**ABSTRACT:** The main goal of the analyzes was to check whether the certified gas appliances available on the market for domestic and commercial use (catering equipment) can be supplied with partially purified agricultural biogas or mixture of such biogas in combination with group E high-methane natural gas or gas from LNG regasification. To answer this question, a situation in which the agricultural biogas would be pre-treated to remove the most undesirable pollutants and would ultimately be a gas consisting of methane ( $\text{CH}_4$ ), carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) and oxygen ( $\text{O}_2$ ) was considered. Four different compositions of agricultural biogas were considered in which content of methane varied from 70% to 85% and carbon dioxide from 14.8% to 29.8%. The calculated energy parameters (Wobbe index) of these biogases were then compared with the nominal Wobbe index for natural gases of Ln, Ls and Lw groups set out in Polish legislation. Another option considered was to mix partially purified agricultural biogas with group E high-methane natural gas or gas from LNG regasification, in such proportions that the resulting mixtures would meet the minimum energy requirements for natural gases from the Ls, Lw and E groups as well as the minimum and maximum energy requirements for natural gas S group (a gas containing carbon dioxide distributed in Hungary). The mixing proportions of these gases were determined, the potential compositions of the resulting mixtures, their energy parameters and the supply pressures of the end devices burning these mixtures were given. Based on the calculations performed, the categories of devices that could potentially be supplied with either partially purified biogas or its mixtures with group E high-methane natural gas or gas from LNG regasification were indicated. The article also describes what, if any, modifications will be necessary to such devices to make them safe to use after the gas change.

Key words: biogas, agricultural biogas, mixtures of biogas and natural gas, mixtures of biogas and LNG gas.

## Wstęp

Ciągle rosnące zapotrzebowanie na nośniki energii przy jednoczesnych działaniach Unii Europejskiej, jak również Polski w kierunku ograniczenia, a w dłuższej perspektywie czasowej – całkowitego wyeliminowania z użycia paliw kopalnych powinno pociągnąć za sobą rozwój sektora wytwarzania i użytkowania biogazu, w tym biogazu rolniczego.

Mianem biogazu, zgodnie z definicją dyrektywy (UE) 2018/2001 (Dyrektywa 2018/2001), określa się paliwa gazowe wytworzone z biomasy. Jak podają Holewa et al. (2012), źródłami biogazu są:

- składowiska odpadów;
- oczyszczalnie ścieków;
- biogazownie, które przetwarzają odpady rolnicze oraz odpady pochodzące z przemysłu spożywczego.

Podstawowymi składnikami biogazu są: metan, dwutlenek węgla, tlen, azot i siarkowodor. Dodatkowo biogaz może zawierać szereg innych zanieczyszczeń, niewystępujących w typowych gazach ziemnych, a mogących negatywnie wpływać zarówno na infrastrukturę transportową gazu, jak i bezpieczeństwo jego odbiorców. Tego typu zanieczyszczeniami są m.in.: siloksany, chlorowcopochodne węglowodorów, amoniak czy mikroorganizmy (Holewa et al., 2012). Na przykład powstający w reakcji z tlenem i parą wodną kwas siarkowy działa niszcząco

na poszczególne elementy instalacji (Piskowska-Wasiak, 2013). Różnorodność biomasy wykorzystywanej do produkcji biogazu przekłada się na skład biogazu, który zmienia się w zależności od materiału wsadowego. Skład surowego biogazu wytworzonego z różnych surowców wsadowych pokazano w tabeli 1 (Kwaśny et al., 2012).

W INiG – PIB przeprowadzono badania składu biogazu pochodzącego z 11 biogazowni rolniczych zlokalizowanych w Polsce. Analizie poddawany był surowy biogaz oraz biogaz oczyszczony.

W tabeli 2 przedstawiono przykładowy skład biogazu rolniczego surowego oraz skład tego samego gazu po jego oczyszczeniu.

Biogaz, w tym biogaz rolniczy, może być wykorzystany:

- do produkcji energii elektrycznej w silnikach spalinowych, iskrowych lub turbinach gazowych;
- do produkcji energii elektrycznej i ciepłej w jednostkach skojarzonych;
- do produkcji energii ciepłej w przystosowanych kotłach gazowych;
- jako paliwo do zasilania silników pojazdów samochodowych;
- do zatłaczania do sieci gazowych po uprzednim uzdatnieniu go do parametrów gazu ziemnego wysokometanowego;
- w procesach technologicznych, np. do produkcji metanolu.

**Tabela 1.** Skład chemiczny surowego biogazu wytwarzanego z różnych surowców wsadowych

**Table 1.** Chemical composition of raw biogas produced from various input materials

Składnik	Jednostka	Odpady z gospodarstw domowych	Osad z oczyszczalni ścieków	Odpady rolnicze	Odpady z przemysłu rolno-spożywczego
CH <sub>4</sub>	[%] obj.	50–60	60–75	60–75	68
CO <sub>2</sub>		34–38	19–33	19–33	26
N <sub>2</sub>		0–5	0–1	0–1	–
O <sub>2</sub>		0–1	<0,5	<0,5	–
H <sub>2</sub> O	[%] obj. (w 40°C)	6	6	6	6
H <sub>2</sub> S	[mg/m <sup>3</sup> ]	100–900	1000–4000	3000–10000	100
NH <sub>3</sub>		–	–	50–100	400
Związki aromatyczne		0–200	–	–	–
Związki chlorowcoorganiczne lub fluoroorganiczne		100–800	–	–	–

**Tabela 2.** Skład chemiczny biogazu rolniczego surowego oraz oczyszczonego

**Table 2.** Chemical composition of raw and purified agricultural biogas

Nr biogazowni	Zawartość składnika w biogazie					
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO
	[% obj.]	[% obj.]	[% obj.]	[% obj.]	[% obj.]	[% obj.]
BR45 (surowy)	57,479	39,077	0,618	2,805	0,0208	0,0002
BR45 (oczyszczony)	61,264	37,886	0,118	0,711	0,0208	0,0002

Wybór sposobu zagospodarowania biogazu rolniczego uzależniony jest od wielu czynników, z których najważniejsze to:

- możliwość sprzedaży nadwyżek wyprodukowanej energii elektrycznej do sieci;
- zapotrzebowanie na ciepło technologiczne i socjalne;
- odległość źródła biogazu od zakładów przemysłowych, osiedli mieszkaniowych (Wojtowicz, 2014).

Obecnie najbardziej popularnym sposobem zagospodarowania biogazu jest spalanie go w kotłach gazowych w celu produkcji ciepłej wody na cele komunalne lub do podgrzewania komór fermentacyjnych. Innym bardzo popularnym sposobem wykorzystania biogazu jest spalanie go w silnikach spalinowych przystosowanych do jego spalania (silniki reguluje się w zależności od składu biogazu). Silniki zazwyczaj stosuje się w układach kogeneracyjnych produkujących ciepło i energię elektryczną w skojarzeniu. Wyprodukowana energia elektryczna zużywana jest na miejscu, do zaspokojenia potrzeb własnych obiektów np. biogazowni rolniczej, biogazowni w oczyszczalniach ścieków. Natomiast nadwyżki energii elektrycznej sprzedawane są dystrybutorom. Wytworzona energia cieplna zużywana jest na potrzeby obiektów wytwórczych, ale istnieją również rozwiązania, w których energia ta zasila osiedla mieszkaniowe. W wielu przypadkach biogazownie zlokalizowane są jednak w oddaleniu od osiedli mieszkaniowych, co wymusza konieczność budowania rurociągów do przesyłania energii cieplnej. Przesyłanie energii cieplnej na odległość, nierzadko kilku kilometrów, generuje straty tej energii na przesyśle, a zapotrzebowanie na nią występuje tylko w okresie grzewczym.

W związku z tym rozważane są inne sposoby zagospodarowania biogazu rolniczego na cele energetyczne. Jednym z nich jest oczyszczenie go do biometanu i zatłoczenie do istniejącej sieci dystrybucyjnej gazu ziemnego wysokometanowego lub zasilanie biometanem pojazdów transportu publicznego. W procesie oczyszczania biogazu rolniczego do biometanu najbardziej istotnym aspektem jest usunięcie CO<sub>2</sub>. Popularnymi technologiami usuwania CO<sub>2</sub> są:

- adsorpcja zmiennociśnieniowa (PSA). Metoda ta opiera się na szybkich zmianach ciśnienia, które umożliwiają głównie adsorpcję CO<sub>2</sub> przez węgiel aktywny (Mroczkowski i Seiffert, 2011);
- płuczka wodna. Opiera się ona na zasadzie, że wraz ze wzrostem ciśnienia rozpuszczalność CH<sub>4</sub> i CO<sub>2</sub> wzrasta. W trakcie tego procesu z biogazu usuwany jest również siarkowodor (Mroczkowski i Seiffert, 2011);
- płuczka aminowa. Jej działanie opiera się na zastosowaniu procesu absorpcji. Dwutlenek węgla usuwany jest z biogazu poprzez wymywanie (absorbcję) w chemicznym roztworze zawierającym aminy w momencie kontaktu biogazu z rozpuszczalnikiem (Mroczkowski i Seiffert, 2011);

- separacja membranowa. Rozdział CH<sub>4</sub> i CO<sub>2</sub> realizowany jest przy użyciu membrany. Membrana jest to filtr, który przepuszcza jedne ze składników mieszaniny, a zatrzymuje inne ze względu na różnicę wielkości cząsteczki lub powinowactwo między materiałem membrany a rozdzielanymi składnikami (Piskowska-Wasiak, 2014);
- separacja kriogeniczna. Ponieważ CH<sub>4</sub> i CO<sub>2</sub> oraz wszystkie inne zanieczyszczenia biogazu ulegają skropleniu w różnym zakresie temperatur, możliwe jest uzyskanie biometanu z biogazu przez schłodzenie i kompresję surowego biogazu w celu wykroplenia CO<sub>2</sub>, który następnie można oddzielić od pozostałego gazu (Piskowska-Wasiak, 2014).

Kolejnym istotnym składnikiem, który należy usunąć z biogazu rolniczego, jest siarkowodor. Jak podaje Piskowska-Wasiak (2014), wybór metody usuwania siarkowodoru zależy od jego zawartości początkowej, koniecznego stopnia oczyszczenia, związanego z przewidywanym zastosowaniem, i od wielkości strumienia gazu. Wykorzystywane są procesy mikrobiologiczne odsiarczania, które nie wymagają dużych nakładów finansowych. Bardzo często stosowane są kombinacje metod biologicznych i chemicznych adsorpcyjnych i absorpcyjnych. Metodą, która zapewnia bardzo głęboki poziom usunięcia siarkowodoru, jest metoda chelatowa, należąca do grupy metod absorpcyjno-utleniających.

Oczyszczenie biogazu do biometanu generuje znaczące koszty, dlatego też poddano analizie dwa inne rozwiązania wykorzystania biogazu rolniczego.

## Część doświadczalna

Zaproponowane rozwiązania bazują na założeniu, że powstaną wydzielone sieci gazowe, którymi rozprowadzane będą:

- częściowo oczyszczony biogaz rolniczy, z którego usunięte zostaną H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, wilgoć oraz ograniczona zostanie zawartość CO<sub>2</sub>. Wstępny proces oczyszczenia powinien doprowadzić do tego, że uzyskane biogazy będą zawierać CH<sub>4</sub> w granicach od 70% do 85%, CO<sub>2</sub> w granicach od 14,8% do 29,8% oraz O<sub>2</sub> na poziomie około 0,2%;
- mieszanina wstępnie oczyszczonego biogazu rolniczego z gazem ziemnym wysokometanowym grupy E lub pochodzącym z regazyfikacji LNG.

Prowadzone analizy miały na celu określenie, które urządzenia przystosowane do spalania gazów ziemnych zaazotowanych grup Ln, Ls i Lw można wykorzystać do spalania częściowo oczyszczonego biogazu rolniczego. Kolejnym celem analiz było oszacowanie, w jakich proporcjach należy mieszać wstępnie oczyszczony biogaz rolniczy z gazem ziemnym wysokometanowym grupy E lub pochodzącym z regazyfikacji LNG, aby uzyskać parametry odpowiadające minimalnym

wymaganiom dla gazów ziemnych zaazotowanych grup Ls i Lw oraz dla gazu ziemnego wysokometanowego grupy E i gazu ziemnego grupy S.

Gaz S jest gazem ziemnym zawierającym w swoim składzie CO<sub>2</sub>, rozprowadzany do odbiorców końcowych na Węgrzech. Parametry energetyczne tego gazu przedstawiono w tabeli 7. Na uwagę zasługuje fakt, że zawartość CO<sub>2</sub> w tym gazie może zmieniać się w granicach od około 10,6% do około 18% objętości.

### Mieszanki biogazu uzyskiwane w wyniku częściowego oczyszczenia biogazu rolniczego

W tabeli 3 przedstawiono składy oraz parametry energetyczne biogazów rolniczych częściowo oczyszczonych do założonych, na potrzeby analiz, zawartości poszczególnych ich składników. W tabeli tej podano również parametry energetyczne oraz składy procentowe gazów ziemnych zaazotowanych grup Ln, Ls i Lw. Parametry energetyczne oraz składy procentowe dobrano tak, aby odpowiadały one wartości nominalnej górnej liczby Wobbego dla danej grupy gazu zaazotowanego. Jako wartości nominalne górnej liczby Wobbego przyjęto te, które odpowiadają gazom odniesienia dla poszczególnych grup gazu podanych w PN-EN 437:2021.

### Mieszanki biogazu rolniczego z gazem pochodzącym z regazyfikacji LNG odpowiadające minimalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grup Ls, Lw i E

Na potrzeby prowadzonych analiz założono, że do obliczeń przyjęty zostanie skład biogazu rolniczego odpowiadający średniemu składowi oczyszczonego biogazu produkowanego przez 11 biogazowni rolniczych w Polsce. Założono również, że H<sub>2</sub>S i N<sub>2</sub> zostaną usunięte z biogazu, natomiast zawartość O<sub>2</sub> zostanie ograniczona do 0,2%. Do tworzenia mieszanin biogazu rolniczego przyjęto skład LNG według Electric Power Research Institute (2006) dla Kataru.

W tabeli 4 przedstawiono skład biogazu rolniczego, gazu ziemnego z regazyfikacji LNG oraz wymagania dla parametrów energetycznych gazów grup Ls, Lw i E (Rozporządzenie, 2010).

W tabeli 5 przedstawiono skład oraz parametry energetyczne mieszanek biogazu rolniczego i gazu ziemnego pochodzącego z regazyfikacji LNG. Mieszanki komponowano w taki sposób, aby osiągnęły minimalne parametry energetyczne, które są wymagane przez przepisy prawa polskiego (Rozporządzenie, 2010) dla gazów ziemnych grup Ls, Lw i E.

### Mieszanki biogazu rolniczego z gazem ziemnym wysokometanowym E odpowiadające minimalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grup Ls, Lw i E

W tabeli 6 przedstawiono skład oraz parametry energetyczne mieszanek biogazu rolniczego i gazu ziemnego wysokometanowego E. Mieszanki komponowano w taki sposób, aby osiągnęły minimalne parametry energetyczne, jakie są wymagane przez przepisy prawa polskiego (Rozporządzenie, 2010) dla gazów ziemnych grup Ls, Lw i E.

### Mieszanki biogazu rolniczego z gazem ziemnym pochodzącym z regazyfikacji LNG i z gazem ziemnym wysokometanowym E odpowiadające wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grupy S

W tabeli 7 przedstawiono parametry energetyczne, jakie są wymagane dla gazu ziemnego grupy S (Rodzaje gazu, 2004).

W tabeli 8 przedstawiono skład oraz parametry energetyczne mieszanek biogazu rolniczego z gazem ziemnym pochodzącym z regazyfikacji LNG oraz z gazem ziemnym wysokometanowym grupy E. Mieszanki komponowano w taki sposób, aby osiągnęły parametry energetyczne, jakie są wymagane dla gazu ziemnego grupy S (Rodzaje gazu, 2004). Skład biogazu rolniczego, gazu ziemnego pochodzącego z regazyfikacji LNG oraz gazu ziemnego wysokometanowego przyjęty został z tabel 4 i 6.

### Omówienie wyników przeprowadzonych analiz

Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 3 porównano liczbę Wobbego opracowanych na potrzeby analiz biogazów oraz gazów Ln, Ls i Lw. Wykonane obliczenia pokazały, że liczba Wobbego Biogazu 75% jest niższa od liczby Wobbego gazu Ls o 4,5%, natomiast Biogazu 80% jest wyższa o 5,1%. Dla Biogazu 70% liczba Wobbego w stosunku do gazu jest niższa o 13,5%.

Liczba Wobbego to parametr, który służy do porównania energii uzyskiwanej ze spalania gazów o różnym składzie w urządzeniach gazowych. Jeżeli dwa paliwa mają identyczne liczby Wobbego, to przy tym samym ciśnieniu zasilania obciążenie cieplne uzyskiwane przez urządzenie powinno być takie samo bez potrzeby jego modyfikacji. Wobec tego, analizując tabelę 3, widać, że urządzenia przystosowane do spalania gazu ziemnego zaazotowanego Ls mogą być potencjalnie zaadaptowane do spalania biogazu zawierającego od 75% do 80% CH<sub>4</sub> oraz od 19,8% do 24,8% CO<sub>2</sub>.

**Tabela 3.** Skład oraz parametry energetyczne biogazów oraz gazów zaazotowanych grup Ln, Ls i Lw

**Table 3.** Composition and energy parameters of biogas and nitrogen-rich gases of Ln, Ls and Lw group

Parametr		Jednostka	Oznaczenia gazów oraz wartość parametru						
			Biogaz 70%	Biogaz 75%	Biogaz 80%	Biogaz 85%	gaz Ln	gaz Ls	gaz Lw
Skład gazu	metan	[%]	70,0	75,0	80,0	85	63,0	72,0	82,0
	dwutlenek węgla	[%]	29,8	24,8	19,8	14,8	37,0	28,0	18,0
	tlen	[%]	0,2	0,2	0,2	0,2	–	–	–
Ciepło spalania, $H_s$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	27,88	29,87	31,86	33,86	25,09	28,68	32,66
Wartość opałowa, $H_i$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	25,13	26,92	28,71	30,51	22,61	25,84	29,43
Liczba Wobbego (górna), $W_s$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	30,31	33,45	36,82	40,46	29,83	35,03	41,18
Liczba Wobbego (dolna), $W_i$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	27,31	30,14	33,18	36,46	26,89	31,56	37,11
Gęstość, $\rho$		[kg/m <sup>3</sup> ]	1,094	1,031	0,968	0,905	0,915	0,867	0,813
Gęstość względna, $d$		–	0,846	0,798	0,749	0,700	0,707	0,670	0,629

Uwaga: Warunki odniesienia dla procesu spalania i objętości:  $T_1 = 298,15 \text{ K (} 25^\circ\text{C)}$ ;  $T_2 = 273,15 \text{ K (} 0^\circ\text{C)}$ ;  $p_1 = p_2 = 101,325 \text{ kPa}$ .  
 Biogaz 70% – biogaz rolniczy częściowo oczyszczony tak, aby zawierał 70% CH<sub>4</sub>, 29,8% CO<sub>2</sub> oraz 0,2% O<sub>2</sub>.  
 Biogaz 75% – biogaz rolniczy częściowo oczyszczony tak, aby zawierał 75% CH<sub>4</sub>, 24,8% CO<sub>2</sub> oraz 0,2% O<sub>2</sub>.  
 Biogaz 80% – biogaz rolniczy częściowo oczyszczony tak, aby zawierał 80% CH<sub>4</sub>, 19,8% CO<sub>2</sub> oraz 0,2% O<sub>2</sub>.  
 Biogaz 85% – biogaz rolniczy częściowo oczyszczony tak, aby zawierał 85% CH<sub>4</sub>, 14,8% CO<sub>2</sub> oraz 0,2% O<sub>2</sub>.

**Tabela 4.** Skład biogazu rolniczego, gazu ziemnego z regazyfikacji LNG oraz wymagania dla parametrów energetycznych gazów grup Ls, Lw i E

**Table 4.** Composition of agricultural biogas, natural gas from LNG regasification and requirements for energy parameters of gases of Ls, Lw and E group

Parametr		Jednostka	Oznaczenia gazów oraz wartość parametru							
			biogaz rolniczy	LNG	gaz grupy E*		gaz grupy Lw*		gaz grupy Ls*	
					min	max	min	max	min	max
Skład gazu	metan	[%]	61,28	89,20	–	–	–	–	–	–
	etan	[%]	–	7,10	–	–	–	–	–	–
	propan	[%]	–	2,50	–	–	–	–	–	–
	butan	[%]	–	1,20	–	–	–	–	–	–
	dwutlenek węgla	[%]	38,52	–	–	–	–	–	–	–
	tlen	[%]	0,20	–	–	–	–	–	–	–
Ciepło spalania, $H_s$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	27,88	44,65	34,0	–	30,0	–	26,0	–
Wartość opałowa, $H_i$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	25,13	40,40	31,0	–	27,0	–	24,0	–
Liczba Wobbego (górna), $W_s$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	30,31	56,11	45,0	56,9	37,5	45,0	32,5	37,5
Liczba Wobbego (dolna), $W_i$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	27,31	50,76	–	–	–	–	–	–
Gęstość, $\rho$		[kg/m <sup>3</sup> ]	1,094	0,819	–	–	–	–	–	–
Gęstość względna, $d$		–	0,846	0,633	–	–	–	–	–	–

Uwaga: Warunki odniesienia dla procesu spalania i objętości:  $T_1 = 298,15 \text{ K (} 25^\circ\text{C)}$ ;  $T_2 = 273,15 \text{ K (} 0^\circ\text{C)}$ ;  $p_1 = p_2 = 101,325 \text{ kPa}$ .  
 \* Na podstawie PN-C 04753:2011.

**Tabela 5.** Skład oraz parametry energetyczne mieszanek biogazu rolniczego i gazu ziemnego pochodzącego z regazyfikacji LNG

**Table 5.** Composition and energy parameters of mixtures of agricultural biogas and natural gas from LNG regasification

Parametr		Jednostka	Oznaczenia gazów oraz wartość parametru		
			(B + LNG) <sub>(E)</sub>	(B + LNG) <sub>(Lw)</sub>	(B + LNG) <sub>(Ls)</sub>
Skład gazu	metan	[%]	80,74	74,11	68,97
	etan	[%]	4,95	3,26	1,96
	propan	[%]	1,74	1,15	0,69
	butan	[%]	0,84	0,55	0,33
	dwutlenek węgla	[%]	11,67	20,82	27,91
	tlen	[%]	0,06	0,11	0,14

cd. Tabela 5/cont. Table 5

Parametr	Jednostka	Oznaczenia gazów oraz wartość parametru		
		(B + LNG) <sub>(E)</sub>	(B + LNG) <sub>(Lw)</sub>	(B + LNG) <sub>(Ls)</sub>
Ciepło spalania, $H_S$	[MJ/m <sup>3</sup> ]	38,52	33,71	29,99
Wartość opałowa, $H_i$	[MJ/m <sup>3</sup> ]	34,82	30,45	27,06
Liczba Wobbego (górna), $W_S$	[MJ/m <sup>3</sup> ]	45,29	37,83	32,54
Liczba Wobbego (dolna), $W_i$	[MJ/m <sup>3</sup> ]	40,94	34,17	29,37
Gęstość, $\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	0,936	1,027	1,080
Gęstość względna, $d$	–	0,724	0,794	0,849
Proporcje mieszania LNG i biogazu	[m <sup>3</sup> LNG/m <sup>3</sup> biogazu]	2,3	0,85	0,38

Uwaga: Warunki odniesienia dla procesu spalania i objętości:  $T_1 = 298,15$  K (25°C);  $T_2 = 273,15$  K (0°C);  $p_1 = p_2 = 101,325$  kPa.  
 (B + LNG)<sub>(E)</sub> – mieszanina biogazu rolniczego i gazu ziemnego pochodzącego z regazyfikacji LNG odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grupy E.  
 (B + LNG)<sub>(Lw)</sub> – mieszanina biogazu rolniczego i gazu ziemnego pochodzącego z regazyfikacji LNG odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grupy Lw.  
 (B + LNG)<sub>(Ls)</sub> – mieszanina biogazu rolniczego i gazu ziemnego pochodzącego z regazyfikacji LNG odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grupy Ls.

**Tabela 6.** Skład oraz parametry energetyczne mieszanek biogazu rolniczego i gazu ziemnego wysokometanowego grupy E**Table 6.** Composition and energy parameters of mixtures of agricultural biogas and group E natural gas

Parametr		Jednostka	Oznaczenia gazów oraz wartość parametru				
			biogaz rolniczy	E*	(B + E) <sub>(E)</sub>	(B + E) <sub>(Lw)</sub>	(B + E) <sub>(Ls)</sub>
Skład gazu	metan	[%]	61,28	96,04	87,75	79,48	72,23
	etan	[%]	–	2,22	1,69	1,16	0,70
	propan	[%]	–	0,48	0,37	0,25	0,15
	n-butan	[%]	–	0,07	0,05	0,04	0,02
	i-butan	[%]	–	0,08	0,06	0,04	0,03
	n-pentan	[%]	–	0,01	0,01	0,01	0,00
	i-pentan	[%]	–	0,02	0,02	0,01	0,01
	n-heksan	[%]	–	0,02	0,02	0,01	0,01
	azot	[%]	–	0,87	0,66	0,46	0,27
	dwutlenek węgla	[%]	38,52	0,19	9,32	18,44	26,44
	tlen	[%]	0,2	–	0,05	0,10	0,14
Ciepło spalania, $H_S$	[MJ/m <sup>3</sup> ]	27,88	40,59	36,74	32,89	29,51	
Wartość opałowa, $H_i$	[MJ/m <sup>3</sup> ]	25,13	36,62	33,19	29,66	26,60	
Liczba Wobbego (górna), $W_S$	[MJ/m <sup>3</sup> ]	30,31	53,32	45,11	38,05	32,58	
Liczba Wobbego (dolna), $W_i$	[MJ/m <sup>3</sup> ]	27,31	48,10	40,69	34,31	29,37	
Gęstość, $\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	1,094	0,749	0,857	0,966	1,061	
Gęstość względna, $d$	–	0,846	0,579	0,663	0,747	0,820	
Proporcje mieszania gazu E i biogazu	[m <sup>3</sup> E/m <sup>3</sup> biogazu]	–	–	3,2	1,1	0,46	

Uwaga: Warunki odniesienia dla procesu spalania i objętości:  $T_1 = 298,15$  K (25°C);  $T_2 = 273,15$  K (0°C);  $p_1 = p_2 = 101,325$  kPa.  
 \* Średni skład gazu ziemnego wysokometanowego w punkcie pomiaru Nr 439 Śledziejowice k. Mogiła (GAZ System, 2020).  
 (B + E)<sub>(E)</sub> – mieszanina biogazu rolniczego i gazu ziemnego wysokometanowego E odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grupy E.  
 (B + E)<sub>(Lw)</sub> – mieszanina biogazu rolniczego i gazu ziemnego wysokometanowego E odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grupy Lw.  
 (B + E)<sub>(Ls)</sub> – mieszanina biogazu rolniczego i gazu ziemnego wysokometanowego E odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grupy Ls.

Zmiana liczby Wobbego dla rozpatrywanych biogazów w stosunku do gazu Ls w granicach od –4,5% do 5,1% jest do zaakceptowania zarówno z punktu widzenia użytkownika,

jak i przepisów prawa. Należy podkreślić, że w tym przypadku ciśnienia zasilania urządzeń gazowych, zgodnie z normą PN-C 04753:2011, powinny wynosić:  $p_{nom} = 1,3$  kPa;

**Tabela 7.** Wymagania dla parametrów energetycznych gazu ziemnego grupy S

**Table 7.** Requirements for energy parameters group S natural gas

Parametr		Jednostka	Wartość parametru	
			minimalne wymagania dla gazu S*	maksymalne wymagania dla gazu S*
Skład gazu	metan	[%]	82,0	89,4
	dwutlenek węgla	[%]	18,0	10,6
	tlen	[%]	–	–
Ciepło spalania, $H_s$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	32,66	35,61
Wartość opałowa, $H_i$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	29,43	32,09
Liczba Wobbego (górna), $W_s$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	38,22	43,89
Liczba Wobbego (dolna), $W_i$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	34,44	39,55
Gęstość, $\rho$		[kg/m <sup>3</sup> ]	0,944	0,851
Gęstość względna, $d$		–	0,730	0,658

Uwaga: Warunki odniesienia dla procesu spalania i objętości:  $T_1 = 298,15$  K (25°C);  $T_2 = 273,15$  K (0°C);  $p_1 = p_2 = 101,325$  kPa.  
\* Na podstawie (Rodzaje gazu, 2004).

**Tabela 8.** Skład oraz parametry energetyczne mieszanek biogazu rolniczego z gazem ziemnym pochodzącym z regazyfikacji LNG lub z gazem ziemnym wysokometanowym grupy E

**Table 8.** Composition and energy parameters of mixtures of agricultural biogas with natural gas from LNG regasification and with group E natural gas

Parametr		Jednostka	Oznaczenia gazów oraz wartość parametru			
			(B + LNG) <sub>(Smin)</sub>	(B + LNG) <sub>(Smax)</sub>	(B + E) <sub>(Smin)</sub>	(B + E) <sub>(Smax)</sub>
Skład gazu	metan	[%]	74,51	79,57	80,25	86,38
	etan	[%]	3,36	4,65	1,21	1,60
	propan	[%]	1,18	1,65	0,26	0,35
	n-butan	[%]	–	–	0,04	0,05
	i-butan	[%]	–	–	0,04	0,06
	n-pentan	[%]	–	–	0,01	0,01
	i-pentan	[%]	–	–	0,01	0,01
	n-heksan	[%]	–	–	0,01	0,01
	azot	[%]	0,57	0,79	0,47	0,63
	dwutlenek węgla	[%]	20,27	13,28	17,61	10,84
	tlen	[%]	0,11	0,07	0,09	0,63
Ciepło spalania, $H_s$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	34,00	37,68	33,24	36,10
Wartość opałowa, $H_i$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	30,71	34,06	29,97	32,56
Liczba Wobbego (górna), $W_s$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	38,25	43,91	38,65	43,86
Liczba Wobbego (dolna), $W_i$		[MJ/m <sup>3</sup> ]	34,55	39,69	34,86	39,56
Gęstość, $\rho$		[kg/m <sup>3</sup> ]	1,022	0,952	0,956	0,876
Gęstość względna, $d$		–	0,791	0,736	0,739	0,677
Proporcje mieszania LNG i biogazu		[m <sup>3</sup> LNG/m <sup>3</sup> biogazu]	0,9	1,9	–	–
Proporcje mieszania gazu E i biogazu		[m <sup>3</sup> E/m <sup>3</sup> biogazu]	–	–	1,2	2,6

Uwaga: Warunki odniesienia dla procesu spalania i objętości:  $T_1 = 298,15$  K (25°C);  $T_2 = 273,15$  K (0°C);  $p_1 = p_2 = 101,325$  kPa.  
(B + LNG)<sub>(Smin)</sub> – mieszanina biogazu rolniczego i gazu ziemnego pochodzącego z regazyfikacji LNG odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grupy S.  
(B + LNG)<sub>(Smax)</sub> – mieszanina biogazu rolniczego i gazu ziemnego pochodzącego z regazyfikacji LNG odpowiadająca maksymalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grupy S.  
(B + E)<sub>(Smin)</sub> – mieszanina biogazu rolniczego i gazu ziemnego wysokometanowego E odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grupy S.  
(B + E)<sub>(Smax)</sub> – mieszanina biogazu rolniczego i gazu ziemnego wysokometanowego E odpowiadająca maksymalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu grupy S.

$p_{\min} = 1,05$  kPa;  $p_{\max} = 1,6$  kPa. Porównanie liczb Wobbego biogazów z liczbami Wobbego gazów grup Ln i Lw nie wykazało na tyle dużej zbieżności, aby można było rozważać możliwość wykorzystania urządzeń przystosowanych do spalania gazów Ln i Lw do zasilania tymi biogazami.

Z punktu widzenia zapewnienia bezpieczeństwa użytkowania urządzeń – po zmianie gazu konieczne będzie przeprowadzenie badań jakości spalin (zawartość tlenu węgla w spalinach) oraz stabilności pracy palników. Gdyby okazało się, że w wyniku zmiany gazów występuje wzrost stężenia zawartości tlenu węgla w spalinach powyżej dopuszczalnej wartości, konieczna może okazać się ingerencja w konstrukcję urządzenia. W zależności od typu urządzenia (kocioł gazowy, gazowy przepływowy ogrzewacz wody, kuchnia gazowa itd.) zmiany konstrukcyjne mogą być mniej lub bardziej skomplikowane. W urządzeniach wyposażonych w palniki kinetyczno-dyfuzyjne (kotły, ogrzewacze, kuchnie i płyty gazowe, urządzenia grzewcze dla gastronomii), w których o ilości zasysanego powietrza do spalania (tzw. powietrza pierwotnego) decyduje kształt i rozmiar dyszy, konieczna może się okazać wymiana dyszy na dyszę o innym kształcie i/lub średnicy otworu. W urządzeniach wyposażonych w ww. palniki, szczególnie w urządzeniach dla gastronomii, bardzo często o ilości zasysanego powietrza pierwotnego decyduje również ustawienie przysłony na inżektorze. W takich urządzeniach w celu uzyskania prawidłowych wartości emisji tlenu węgla trzeba będzie dokonać regulacji ustawienia tej przysłony. Jeżeli chodzi o popularne obecnie urządzenia wyposażone w palniki typu pre-mix (kotły gazowe, gazowe przepływowe ogrzewacze wody, nagrzewnice gazowe), dostosowanie tego typu urządzeń do warunków prawidłowego spalania może wiązać się z wyregulowaniem na zaworze gazowym ilości gazu podawanego przed zwężkę Venturiego oraz ustawieniem prędkości obrotowej wentylatora w celu wytworzenia prawidłowej mieszanki gaz–powietrze.

Analizując dane podane w tabeli 5, w której zamieszczono wyniki obliczeń mieszanek oczyszczonego biogazu rolniczego i gazu ziemnego pochodzącego z regazyfikacji LNG, których parametry odpowiadają minimalnym wymaganiom dla gazów grup Ls, Lw i E, widać, że najwięcej gazu LNG (około  $2,3$  m<sup>3</sup>) należy dodać do  $1$  m<sup>3</sup> biogazu, aby powstała mieszanina odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla gazu E. Natomiast już w przypadku mieszaniny biogazu i gazu LNG odpowiadającej minimalnym wymaganiom dla gazu Ls do  $1$  m<sup>3</sup> biogazu potrzeba dodać tylko  $0,38$  m<sup>3</sup> gazu LNG.

Tabela 6 prezentuje składy oraz parametry energetyczne mieszanek powstałych w wyniku zmieszania oczyszczonego biogazu rolniczego oraz gazu ziemnego wysokometanowego, których parametry odpowiadają minimalnym wymaganiom dla gazu Ls, Lw i E. Z racji tego, że gaz ziemny wysokometanowy

ma niższe parametry energetyczne niż gaz ziemny LNG, do powstania założonych mieszanek należy na  $1$  m<sup>3</sup> biogazu użyć odpowiednio więcej gazu ziemnego wysokometanowego. Mianowicie do powstania mieszanin biogazu rolniczego oraz gazu ziemnego wysokometanowego, których parametry odpowiadają minimalnym wymaganiom dla gazów grup Ls, Lw i E,  $1$  m<sup>3</sup> biogazu należy zmieszać odpowiednio z  $0,46$  m<sup>3</sup>,  $1,1$  m<sup>3</sup> i  $3,2$  m<sup>3</sup> gazu ziemnego.

Do zasilania mieszaninami częściowo oczyszczonego biogazu z gazem pochodzącym z regazyfikacji LNG lub gazem ziemnym wysokometanowym E, których parametry odpowiadają minimalnym wymaganiom dla gazów grup Ls, Lw i E, mogą potencjalnie zostać zaadaptowane wszystkie urządzenia posiadające certyfikat CE, w których w oznaczeniu kategorii znajduje się odniesienie do gazów grup Ls, Lw i E.

Ciśnienia zasilania urządzeń gazowych, zgodnie z normą PN-C 04753:2011, powinny wynosić:

- dla mieszanin, których parametry odpowiadają minimalnym wymaganiom dla gazu Ls (oznaczenia na potrzeby pracy  $(B + LNG)_{(Ls)}$ ,  $(B + E)_{(Ls)}$ ):  $p_{\text{nom}} = 1,3$  kPa;  $p_{\text{min}} = 1,05$  kPa;  $p_{\text{max}} = 1,6$  kPa;
- dla mieszanin, których parametry odpowiadają minimalnym wymaganiom dla gazu Lw (oznaczenia na potrzeby pracy  $(B + LNG)_{(Lw)}$ ,  $(B + E)_{(Lw)}$ ):  $p_{\text{nom}} = 2,0$  kPa;  $p_{\text{min}} = 1,75$  kPa;  $p_{\text{max}} = 2,3$  kPa;
- dla mieszanin, których parametry odpowiadają minimalnym wymaganiom dla gazu E (oznaczenia na potrzeby pracy  $(B + LNG)_{(E)}$ ,  $(B + E)_{(E)}$ ):  $p_{\text{nom}} = 2,0$  kPa;  $p_{\text{min}} = 1,6$  kPa;  $p_{\text{max}} = 2,5$  kPa.

Istotne jest, że gdy chcemy spalać mieszaninę przystosowaną do minimalnych parametrów dla danej grupy gazu (Ls, Lw, E) należy w urządzeniach wprowadzić ustawienia właśnie dla tej grupy.

W przypadku wystąpienia problemów z jakością spalania rozpatrywanych mieszanek (wzrost zawartości tlenu węgla w spalinach) lub ze stabilnością i zapłonem płomienia sposoby poprawy konstrukcji urządzenia są identyczne jak te opisane powyżej.

Gaz zawierający w swoim składzie dwutlenek węgla (grupa S) rozprowadzany jest na Węgrzech. Zakres zmienności górnej liczby Wobbego dla tego gazu wynosi od  $38,22$  MJ/m<sup>3</sup> do  $43,86$  MJ/m<sup>3</sup> (Rodzaje gazu, 2004). Wartość nominalna tego parametru wynosi  $41,26$  MJ/m<sup>3</sup>, co odpowiada około 14-procentowej zawartości CO<sub>2</sub> w mieszaninie z metanem. Wartość minimalna liczby Wobbego odpowiada 18-procentowej zawartości CO<sub>2</sub> w mieszaninie z metanem, natomiast wartość maksymalna liczby Wobbego – około 10,6-procentowej zawartości CO<sub>2</sub> w gazie. Nominalne ciśnienie zasilania urządzeń gazowych wynosi 25 mbar (ciśnienie minimalne jest równe 18 mbar, natomiast ciśnienie maksymalne 33 mbar).



W urządzeniach przystosowanych do spalania gazu grupy S można również, bez potrzeby ich modyfikacji, spalać mieszaniny, które przedstawiono w tabeli 8.

### Wnioski

Jak pokazały przeprowadzone analizy, dostosowanie biogazu rolniczego w celu jego zatłoczenia do lokalnych sieci gazowych i użytkowania go szerzej niż tylko poprzez spalanie w układach kogeneracyjnych lub kotłach, można wykonać na dwa sposoby. Pierwszym z nich jest oczyszczenie biogazu rolniczego do parametrów energetycznych gazów ziemnych, dla których istnieją na rynku certyfikowane urządzenia spalające te gazy. Takie podejście pozwoli na wykorzystanie tych urządzeń do spalania oczyszczonego biogazu rolniczego przy jednoczesnym ograniczeniu nakładów na zmiany konstrukcyjne w tych urządzeniach.

Zmiany konstrukcyjne w urządzeniach, o ile będą konieczne, ograniczą się do czynności, które opisano powyżej. Przeprowadzone obliczenia pokazały, że urządzenia przystosowane do spalania gazu ziemnego zaazotowanego Ls mogą być potencjalnie zaadaptowane do spalania wstępnie oczyszczonego biogazu zawierającego od 75% do 80% CH<sub>4</sub> oraz od 19,8% do 24,8% CO<sub>2</sub>. Na rynku dostępne są urządzenia przystosowane do spalania gazu zawierającego CO<sub>2</sub>. Są to urządzenia przystosowane do spalania, rozprawianego na Węgrzech, gazu grupy S.

Aby zastosować urządzenia przystosowane do spalania gazu S do zasilania ich częściowo oczyszczonym biogazem rolniczym, zawartość CO<sub>2</sub> w tym gazie powinna kształtować się w granicach od ok. 10,6% do 18,0%. Pozostałą część powinien stanowić metan oraz ewentualnie tlen, w maksymalnej ilości do 0,2%. Wówczas, przy zachowaniu ciśnień zasilania jak dla gazu S, nie ma konieczności dokonywania jakichkolwiek zmian w konstrukcji urządzeń, aby bezpiecznie i efektywnie spalać w nich biogazy zawierające w swoim składzie od 10,6% do 18,0% CO<sub>2</sub> oraz CH<sub>4</sub>.

Drugim sposobem zagospodarowania biogazu rolniczego jest jego oczyszczenie z najbardziej niepożądanych składników, takich jak wilgoć czy siarkowódór, a następnie mieszanie go z gazem pochodzącym z regazyfikacji LNG lub z gazem ziemnym wysokometanowym w celu uzyskania mieszaniny o z góry założonych parametrach energetycznych. W ramach prowadzonych analiz komponowano mieszaniny odpowiadające minimalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazów ziemnych grup Ls, Lw i E oraz minimalnym i maksymalnym wymaganiom dla gazu ziemnego grupy S.

Biorąc pod uwagę fakt, że priorytetem będzie zużywanie jak największej ilości biogazu, natomiast gaz LNG czy gaz

ziemny wysokometanowy E mają być dodatkiem stabilizującym jakość gazu, najkorzystniej będzie komponować mieszaninę odpowiadającą minimalnym wymaganiom dla parametrów energetycznych gazu Ls. Aby uzyskać taką mieszaninę, do 1 m<sup>3</sup> biogazu rolniczego należy dodać 0,46 m<sup>3</sup> gazu ziemnego wysokometanowego E lub 0,38 m<sup>3</sup> gazu LNG. Chcąc uzyskać mieszaninę odpowiadającą wymaganiom gazu S, również w tym przypadku, z punktu widzenia możliwie dużego zużycia biogazu, należy tak mieszać gazy, aby powstała mieszanina osiągała minimalne wymagania dla parametrów energetycznych gazu grupy S. W związku z tym na 1 m<sup>3</sup> biogazu rolniczego należy dodać 1,2 m<sup>3</sup> gazu ziemnego wysokometanowego E lub 0,9 m<sup>3</sup> gazu LNG. O ile urządzenia przystosowane do gazu Ls mogą wymagać zmian konstrukcyjnych, aby spalać rozpatrywane mieszaniny biogazu i gazu E lub gazu LNG, to już te mające certyfikat na gaz S nie powinny wymagać żadnych przeróbek.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Analiza projektów finansowanych z budżetu UE dotyczących biogazu, istniejących podobnych rozwiązań w innych częściach globu oraz rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń gazowych pod kątem użytkowania mieszaniny gazu ziemnego lub LNG z uzdatnionym biogazem*, INiG – PIB; nr zlecenia: 0038/GU/2021, nr archiwalny: DK-4100-0026/2021.

### Literatura

- Electric Power Research Institute, 2006. Fuel Composition Impacts on Combustion Turbine Operability. *Technical Update*. March.
- GAZ System. <<https://swi.gaz-system.pl/swi/public/#!/gas/quality/params/monthly?lang=pl>> (dostęp: wrzesień 2020).
- Holewa J., Kukulska-Zajac E., Pęgielska M., 2012. Analiza możliwości wprowadzania biogazu do sieci przesyłowej. *Nafta-Gaz*, 68(8): 523–529.
- Kwaśny J., Banach M., Kowalski Z., 2012. Przegląd technologii produkcji biogazu różnego pochodzenia. *Czasopismo Techniczne. Chemia (Politechnika Krakowska)*, 109(2-Ch): 83–102.
- Mroczkowski P., Seiffert M., 2011. Oczyszczanie i zatłaczanie biogazu na przykładzie Niemiec. Możliwości wdrożenia technologii w Polsce. *Niemieckie Centrum Biomasy (DBFZ)*.
- Piskowska-Wasiak J., 2013. Uzdatnianie gazów pochodzenia biologicznego w celu wytwarzania biopaliw i biokomponentów. *Nafta-Gaz*, 69(3): 241–255.
- Piskowska-Wasiak J., 2014. Uzdatnianie biogazu do parametrów gazu wysokometanowego. *Nafta-Gaz*, 70(2): 94–105.
- Wojtowicz R., 2014. Ocena wymienności mieszanek biogazu rolniczego z LNG lub LPG z gazami drugiej rodziny grupy E i Lw metodą Weavera. *Gaz, Woda, Technika Sanitarna*, 11: 420–425.

### Akty prawne i dokumenty normatywne

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (Dz. Urz. UE L 328/82 z 21.12.2018).
- PN-EN 437+A1:2021 Gazy do badań – Ciśnienia próbne – Kategorie urządzeń.

PN-C 04753:2011 Gaz ziemny – Jakość gazu dostarczanego odbiorcom z sieci.

Rodzaje gazu i odpowiadające im ciśnienia zasilające zgodnie z art. 2 ust. 2 dyrektywy Rady 90/396/EWG z dnia 29 czerwca 1990 r. (Dz. Urz. UE C 296/2 z 1.12.2004).

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).



Mgr inż. Robert WOJTOWICZ  
Starszy specjalista badawczo-techniczny; kierownik  
Zakładu Użytkowania Paliw  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25 A  
31-503 Kraków  
E-mail: [robert.wojtowicz@inig.pl](mailto:robert.wojtowicz@inig.pl)

## OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU METROLOGII PRZEPŁYWÓW

- prace badawcze dla przedsiębiorstw gazowniczych z zakresu dokładności i bezpieczeństwa pomiaru objętości gazu (badania jakości gazomierzy, szacowanie nierozliczonych ilości gazu, analizy systemów rozliczeniowych, analizy stacji gazowych, szacowanie niepewności pomiaru, w tym na potrzeby emisji CO<sub>2</sub>);
- badania w ramach akredytacji PCA nr AB 041 (w tym na potrzeby oceny zgodności z dyrektywą MID (Moduł B) nr 2014/32/UE – Jednostka Notyfikowana nr 1450):
  - » gazomierzy rotorowych, zgodnie z PN-EN 12480,
  - » gazomierzy turbinowych, zgodnie z PN-EN 12261,
  - » gazomierzy miechowych, zgodnie z PN-EN 1359 (w tym badania odporności gazomierzy miechowych na działanie magnesów neodymowych),
  - » gazomierzy miechowych, turbinowych, rotorowych, ultradźwiękowych oraz termicznych masowych zgodnie z OIML R137-1&2:2012,
  - » przeliczników objętości, przetworników ciśnienia i temperatury oraz czujników platynowych termometrów rezystancyjnych, zgodnie z PN-EN 12405-1;
- badanie odporności gazomierzy na zanieczyszczenia pyłowe i glikol (PN-EN 16314);
- wzorcowanie w ramach akredytacji AP 152, gazomierzy, ciśnieniomierzy, termometrów, przetworników pomiarowych ciśnienia i temperatury, mierników i kalibratorów wielkości elektrycznych (I, U, R);
- badanie rejestratorów objętości i gazomierzy na zgodność protokołu komunikacyjnego ze standardem Smart-Gas;
- ekspertyzy metrologiczne gazomierzy oraz ekspertyzy pod kątem nielegalnego poboru gazu;
- działalność szkoleniowa dotycząca m.in. nielegalnego poboru gazu – metod wykrywania oraz przeciwdziałania w obszarze pomiarów u indywidualnych odbiorców.



Kierownik: mgr inż. Paweł Kułaga    Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków  
Telefon: 12 617 74 26    Faks: 12 653 16 65    E-mail: [pawel.kulaga@inig.pl](mailto:pawel.kulaga@inig.pl)



INSTYTUT NAFTY I GAZU  
– Państwowy Instytut Badawczy