

Tomasz Siuda, Robert Wojtowicz

*Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

## Badania możliwości współspalania biogazu rolniczego i LNG lub LPG w urządzeniach użytku domowego oraz w urządzeniach do zastosowań przemysłowych

Praca przedstawia wyniki badań nad możliwością spalania mieszaniny biogazu rolniczego z LNG lub LPG w urządzeniach gazowych użytku domowego oraz w urządzeniach do zastosowań przemysłowych przystosowanych do spalania gazów E i Lw bez potrzeby ich modyfikacji. Rozpatrywano trzy grupy urządzeń: wykorzystywane do przygotowania ciepłej wody użytkowej, do przygotowania gorącej wody do centralnego ogrzewania oraz do nadmuchiowego ogrzewania pomieszczeń w zastosowaniach przemysłowych. Jako przedstawiciele tych grup urządzeń wybrano odpowiednio: gazowy grzejnik wody przepływowej, kocioł gazowy z zamkniętą komorą spalania z palnikiem typu *pre-mix* oraz gazową nagrzewnicę powietrza. Przeprowadzono badania znamionowego obciążenia cieplnego, jakości spalania oraz zapłonu, przenoszenia się i stabilności płomienia.

Słowa kluczowe: biogaz, LPG, LNG, wymiennosc paliw gazowych.

### Researching the possibility to burn a mixture of biogas and LNG or LPG in domestic and industrial gas appliances

The paper presents results of researching the possibility to burn a mixture of biogas and LNG or LPG in gas appliances, which are adapted to burn gases E and Lw, without changing anything in their construction. Taken into account, were three groups of gas appliances: a device used to prepare domestic hot water, a device used to prepare hot water for central heating and a device to prepare hot air for heating an industrial building. Representing these groups of selected devices were: a gas-fired instantaneous water heater for sanitary uses production, a gas boiler with a closed chamber with a burner called „pre-mix” and non-domestic gas air heater. Nominal heat input, quality of combustion and ignition, cross-lighting and flame stability was studied.

Key words: biogas, LPG, LNG, interchangeability of gas fuels.

### Wstęp

W przypadku zatłaczania biogazu do krajowej sieci dystrybucyjnej powinien on zostać oczyszczony do parametrów gazu ziemnego rozprowadzanego tą siecią. Oprócz usunięcia z biogazu związków siarki, wilgoci oraz innych zanieczyszczeń szkodliwych dla pracy urządzeń konieczne jest zatem także usuwanie CO<sub>2</sub> [1, 2]. W pracy zaproponowano rozwiązanie polegające na mieszanii wstępnie oczyszczonego biogazu rolniczego (pozbawionego związków siarki, wilgoci oraz innych zanieczyszczeń szkodliwych dla pracy urządzeń bez

eliminacji CO<sub>2</sub>) z gazem z regazyfikacji LNG lub z gazem LPG w takich proporcjach, aby parametry powstałych mieszanin odpowiadały parametrom energetycznym gazom drugiej rodziny grupy E i Lw [3]. Tak przygotowany gaz mógłby być zatłaczany do krajowej sieci dystrybucyjnej lub na jego bazie można by tworzyć w pobliżu biogazowni rolniczych lokalne sieci gazowe. Po analizie uzyskanych wyników badań na wytypowanych urządzeniach użytku domowego (gazowy grzejnik wody przepływowej i kocioł gazowy z zamkniętą

komorą spalania) i urządzeniach przeznaczonych do ogrzewania obiektów niemieszkalnych (gazowa nagrzewnica powietrza z wymuszoną konwekcją) można będzie ocenić, czy

zaproponowane mieszanki nadają się do spalania w wytypowanych urządzeniach nominalnie przystosowanych do gazów grupy E i Lw bez potrzeby ich modyfikacji.

### Określenie proporcji mieszania biogazu rolniczego z LNG lub LPG

W celu realizacji założeń niniejszej pracy określono proporcje mieszania wstępnie oczyszczonego biogazu rolniczego z gazem z regazyfikacji LNG lub z gazem LPG, aby w końcowym efekcie uzyskać gaz o parametrach energetycznych odpowiadających minimalnym wymaganiom określonym dla gazów drugiej rodziny grupy E i Lw w normie PN-C-04753:2011 (tablica 1) [4].

Poczynione założenie spalania przyjętych w pracy mieszanek o minimalnych parametrach energetycznych dla poszczególnych grup gazów wynika z faktu, że takie gazy najtrudniej spalać w urządzeniach przystosowanych do danej grupy gazu.

Analizując powyższe uwarunkowania, do badań w ramach niniejszej pracy przyjęto następujące mieszanki gazowe:

- B + LNG<sub>(E)</sub> – mieszanka biogazu rolniczego i gazu z regazyfikacji LNG odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla gazu drugiej rodziny grupy E,
- B + LNG<sub>(Lw)</sub> – mieszanka biogazu rolniczego i gazu z regazyfikacji LNG odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla gazu drugiej rodziny grupy Lw,
- B + LPG<sub>(E)</sub> – mieszanka biogazu rolniczego i gazu LPG odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla gazu drugiej rodziny grupy E,
- B + LPG<sub>(Lw)</sub> – mieszanka biogazu rolniczego

i gazu LPG odpowiadająca minimalnym wymaganiom dla gazu drugiej rodziny grupy Lw.

W tablicy 2 przedstawiono skład mieszanek gazowych, którymi zasilano badane urządzenia.

Przyjęto również, że parametrami użytkowymi ze względu na zmianę jakości gazu, których zmiany w urządzeniach należy zbadać, będą:

- obciążenie cieplne przy ciśnieniu nominalnym (nominalne ciśnienie zasilania dla gazów E i Lw wynosi 20 hPa),
- stężenie CO w spalinach przy obciążeniu znamionowym,
- zapłon, przenoszenie się i stabilność płomienia przy zasilaniu urządzeń ciśnieniem nominalnym dla stanu zimnego i stanu gorącego urządzenia.

Tablica 1. Minimalne wymagania energetyczne dotyczące gazu ziemnego dostarczanego odbiorcom z sieci dystrybucyjnej

Wielkość charakteryzująca jakość gazu	Jednostka	Wymagane wartości	
		grupa	
		Lw	E
Górna liczba Wobbego	MJ/m <sup>3</sup>	37,5	45,0
– wartość minimalna <sup>1</sup>			
Ciepło spalania nie mniejsze niż	MJ/m <sup>3</sup>	30,0 <sup>1</sup>	34,0 <sup>1</sup>
Wartość opałowa nie mniejsza niż	MJ/m <sup>3</sup>	27,0 <sup>1</sup>	31,0 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Warunki odniesienia dla procesu spalania i objętości:  $T_1 = 298,15 \text{ K (25}^\circ\text{C)}$ ;  $T_2 = 273,15 \text{ K (0}^\circ\text{C)}$ ;  $p_1 = p_2 = 101,325 \text{ kPa}$ .

Tablica 2. Składy gazów po zmieszaniu biogazu rolniczego i LNG oraz biogazu rolniczego i LPG odpowiadające minimalnym wymaganiom określonych dla gazów drugiej rodziny grup E i Lw [3]

Parametr	Jednostka	Oznaczenia gazów oraz wartość parametru				
		B + LNG <sub>(E)</sub>	B + LNG <sub>(Lw)</sub>	B + LPG <sub>(E)</sub>	B + LPG <sub>(Lw)</sub>	
Skład gazu	metan	%	81,1	74,9	49,8	56,6
	etan	%	4,8	3,0	–	–
	propan	%	2,5	1,5	11,8	6,5
	butan	%	–	–	11,8	6,5
	ditlenek węgla	%	11,6	20,6	26,6	30,4
Ciepło spalania $H_s$	MJ/m <sup>3</sup>	38,21	33,46	47,53	37,80	
Wartość opałowa $H_i$	MJ/m <sup>3</sup>	34,53	30,21	43,42	34,38	
Liczba Wobbego (górna) $W_s$	MJ/m <sup>3</sup>	45,14	37,76	45,04	37,50	

Uwaga: Parametry energetyczne podano dla warunków odniesienia 0°C i  $p = 1013,25 \text{ hPa}$ .

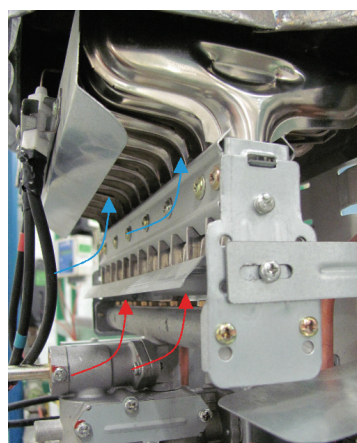
## Opis badanych urządzeń

Pierwsza grupa to urządzenia wykorzystywane do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Jako przedstawiciela tej grupy wybrano gazowy grzejnik wody przepływowej. Z rozwiązań dostępnych na rynku wybrano najbardziej rozpowszechnione urządzenie typu B, które zasysa powietrze do spalania z pomieszczenia, w którym jest zainstalowane, zaś spaliny omywają wymiennik ciepła i odprowadzane są do kominu. W tabelicy 3 przedstawiono charakterystykę techniczną urządzenia. Badany model posiada obciążenie cieplne równe 18,0 kW. W urządzeniu nie ma regulatora ciśnienia gazu, co oznacza, że wahania ciśnienia gazu w sieci mają wpływ na osiąganą wartość obciążenia cieplnego. Model wyposażono w palnik inżektorowy (kinetyczno-dyfuzyjny), do którego dopływa powietrze: pierwotne (na zasadzie podciśnienia tworzącego się wokół dyszy gazowej, z której wypływa gaz z dużą prędkością) i wtórne (na zasadzie efektu kominowego) – fotografia 1.



Urządzenie pracuje w sposób ciągły, a regulacja obciążenia cieplnego odbywa się manualnie za pomocą pokrętki zainstalowanej na obudowie urządzenia.

Tablica 3. Charakterystyka techniczna badanego gazowego grzejnika wody przepływowej

Znamionowe obciążenie cieplne	18,0 kW
Rozmiar dysz gazowych:	
– gaz E	1,05 mm
– gaz Lw	1,20 mm
Liczba dysz gazowych	12 sztuk
Regulator ciśnienia gazu	brak
Typ palnika	inżektorowy palnik kinetyczno-dyfuzyjny
Tryb pracy	ciągły
Regulacja obciążenia cieplnego	ustawiane manualnie



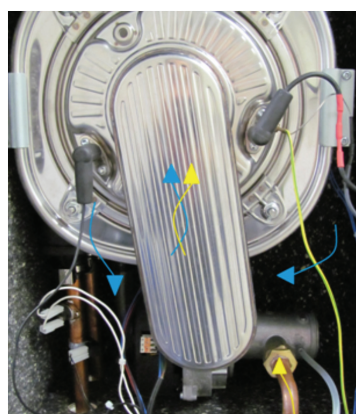
Fot. 1. Widok palnika kinetyczno-dyfuzyjnego badanego grzejnika wody przepływowej

-  – dopływ powietrza pierwotnego
-  – dopływ powietrza wtórnego




Drugą rozpatrywaną grupę urządzeń stanowią kotły gazowe służące do przygotowania gorącej wody do centralnego ogrzewania. Ze względu na rosnącą popularność urządzeń typu C jako model do badań wybrano kocioł gazowy z zamkniętą komorą spalania z palnikiem typu *pre-mix*. Kotły z tym palnikiem wyposażone są w wentylator, który oprócz tego, że dostarcza powietrze w ilości potrzebnej do prawidłowego spalania i usuwa spaliny przez system rur koncentrycznych lub rozdzielczych, powoduje także zasysanie odpowiedniej ilości gazu, zależnej od jego obrotów. W ten oto sposób odbywa się regulacja obciążenia cieplnego kotła. W tabelicy 4 podano wysterowanie obrotów wentylatora dla gazu E i Lw.

Tablica 4. Charakterystyka techniczna badanego kotła gazowego

Maksymalne obciążenie cieplne	19,5 kW
Zakres modulacji	25÷100%
Wysterowanie wentylatora:	
– gaz E	57 jednostek
– gaz Lw	70 jednostek
Typ palnika	palnik <i>pre-mix</i> , palnik kinetyczny
Tryb pracy	modulacja



Fot. 2. Widok palnika typu *pre-mix* (palnik kinetyczny) badanego gazowego kotła centralnego ogrzewania

-  – dopływ gazu z monobloku urządzenia
-  – powietrze zasysane przez wentylator
-  – mieszanka gazowo-powietrzna

Producenci tych urządzeń w instrukcji obsługi podają wartość stężenia ditlenku węgla, na jaką należy nastawić kocioł po jego zamontowaniu i wyposażeniu w system rur powietrzno-spalinowych. Urządzenia te działają ze współczynnikiem nadmiaru powietrza potrzebnego do spalania równym około 1,5 i niemal utrzymują ten współczynnik w swoim zakresie modulacji (kocioł posiada zakres modulacji 25÷100%). W czasie pracy urządzenie zmienia swoje obciążenie cieplne w zależności od zapotrzebowania obiektu na ciepło. Fotografia 2 prezentuje widok badanego palnika kotła gazowego.

Trzecią grupę urządzeń stanowią gazowe przeponowe nagrzewnice powietrza do zastosowań przemysłowych. Wybrany do badań model to urządzenie typu B wyposażone w kinetyczne palniki inżektorowe z wentylatorem o stałej mocy zainstalowanym za komorą spalania. Ilość powietrza pobieranego do spalania zależy częściowo od mocy wentylatora i długości przewodów odprowadzających spaliny, a czę-

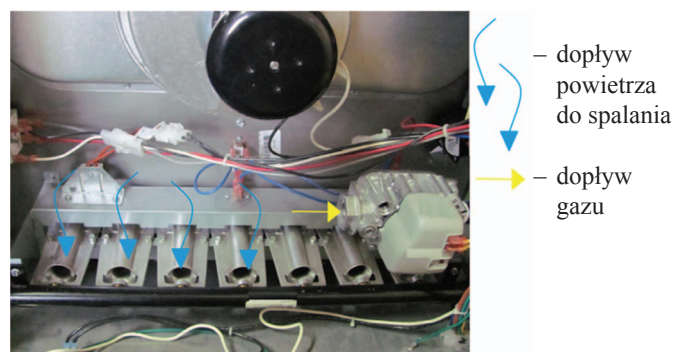
Tablica 5. Charakterystyka techniczna badanej gazowej nagrzewnicy powietrza

Znamionowe obciążenie cieplne	31,4 kW
Rozmiar dysz gazowych:	
– gaz E	1,85 mm
– gaz Lw	1,85 mm
Liczba dysz gazowych	7 sztuk
Regulator ciśnienia gazu	zainstalowany
Ciśnienie gazu za regulatorem:	
– gaz E	8 hPa
– gaz Lw	14,5 hPa
Typ palnika	inżektorowy palnik kinetyczny
Tryb pracy	włącz–wyłącz

ściowo od podciśnienia, które się tworzy, gdy gaz wypływa z dużą prędkością z dyszy gazowej. Tablica 5 prezentuje charakterystykę techniczną badanego modelu.

Fotografia 3 prezentuje widok palnika badanej nagrzewnicy powietrza. Urządzenie pracuje w trybie włącz–wyłącz tylko z obciążeniem znamionowym.

Urządzenia wybrane do badań reprezentują dostępne rozwiązania konstrukcyjne z punktu widzenia różnych grup urządzeń oraz zastosowanych rodzajów palników i sposobów dostarczania powietrza potrzebnego do spalania gazu w tych palnikach.



Fot. 3. Widok palnika badanej gazowej nagrzewnicy powietrza

### Badanie istotnych parametrów użytkowych wytypowanych urządzeń przy zasilaniu ich opracowanymi mieszankami gazowymi

#### Pomiar obciążenia cieplnego

Pomiarów obciążenia cieplnego dla wszystkich trzech grup urządzeń dokonano z wykorzystaniem gazów G20 i G27 przy nominalnym ciśnieniu zasilania równym 20 hPa. Następnie gazy te zastępowano bez zmiany ciśnień gazu przed urządzeniem mieszankami o składzie podanym w tablicy 2. Weryfikacji znamionowego obciążenia cieplnego (skorygowanego obciążenia cieplnego) dokonano według wzoru (1) [5, 6, 7]:

$$Q_{sko} = V_{mes} \times k \times H \times \sqrt{\frac{1013,25 + p}{1013,25} \times \frac{p_a + p}{1013,25} \times \frac{288}{273 + t_g} \times \frac{d}{d_r} \times \frac{10000}{36}} \quad (1)$$

gdzie:

- $Q_{sko}$  – skorygowane obciążenie cieplne [W],
- $V_{mes}$  – strumień objętości gazu zmierzony w warunkach pomiaru [m<sup>3</sup>/h],
- $H$  – wartość opałowa lub ciepło spalania gazu (15°C, 1013,25 hPa) [MJ/m<sup>3</sup>],
- $k$  – poprawka gazomierza [–],
- $p_a$  – ciśnienie atmosferyczne [hPa],
- $p$  – ciśnienie zasilania gazem w punkcie pomiaru [hPa],
- $t_g$  – temperatura gazu w punkcie pomiaru [°C],

$d$  – względna gęstość gazu w stosunku do suchego powietrza [–],

$d_r$  – względna gęstość gazu odniesienia w stosunku do suchego powietrza.

Powyższe równanie jest właściwe, gdy gaz wykorzystywany do badań jest suchy. Jeżeli używa się gazomierza mokrego lub gdy stosowany gaz jest nasycony wilgocią, to wartość  $d$  należy zastąpić wartością gęstości względnej gazu wilgotnego  $d_h$ , określoną przez równanie (2):

$$d_h = \frac{(p_a + p - p_w) \times d + 0,622 \times p_w}{p_a + p} \quad (2)$$

gdzie:

- $d_h$  – gęstość względna gazu wilgotnego w stosunku do suchego powietrza,
- $d$  – względna gęstość gazu w stosunku do suchego powietrza,
- $p_a$  – ciśnienie atmosferyczne [hPa],
- $p$  – ciśnienie zasilania gazem w punkcie pomiaru [hPa],
- $p_w$  – ciśnienie cząstkowe pary wodnej [hPa] w temperaturze  $t_g$ .

Wartość obciążenia skorygowanego informuje, jakie byłoby obciążenie cieplne, gdyby w chwili pomiaru pano-

wały warunki odniesienia (gaz suchy, 15°C, 1013,25 hPa). Obciążenie cieplne dla gazowego grzejnika wody przepływowej i kotła gazowego określono według wartości opałowej, zaś dla nagrzewnicy powietrza według ciepła spalania [5, 6, 7].

### Pomiar jakości spalania

Pomiarów jakości spalania dla wszystkich trzech grup urządzeń dokonano z wykorzystaniem gazów G20 i G27 przy znamionowym obciążeniu cieplnym. Następnie gazy te zastępowano bez zmiany ciśnień gazu przed urządzeniem mieszankami o składzie podanym w tabelicy 2.

Pobieranie próbek spalin przeprowadzono z zastosowaniem tzw. pajęczka. Próbki pobierano poprzez zassanie pewnej ilości gazów z przewodu spalinowego każdego z urządzeń. Sprawdzenie zawartości tlenu węgla w spalinach wykonywano, gdy urządzenia osiągnęły stan równowagi cieplnej. Stężenie objętościowe CO w suchych i nierozcieńczonych powietrzem spalinach określano wzorem (3) [5, 6, 7]:

$$(\text{CO})_N = (\text{CO})_M \times \frac{(\text{CO}_2)_N}{(\text{CO}_2)_M} \quad (3)$$

gdzie:

$(\text{CO})_N$  – procentowe stężenie objętościowe tlenu węgla w suchych, nierozcieńczonych powietrzem spalinach,  
 $(\text{CO}_2)_N$  – procentowe stężenie objętościowe ditlenku węgla obliczone dla suchych, nierozcieńczonych powietrzem spalin,  
 $(\text{CO})_M$  i  $(\text{CO}_2)_M$  – procentowe stężenia objętościowe tlenu i ditlenku węgla zmierzone w próbkach spalin suchych podczas badania.

### Badanie zapłonu, przenoszenia się i stabilności płomienia

Sprawdzenia zapłonu, przenoszenia się i stabilności płomienia dla wszystkich trzech grup urządzeń dokonano, zasilając urządzenia przewidzianymi w pracy mieszankami pod ciśnieniem nominalnym równym 20 hPa. Badania przeprowadzono dla urządzeń znajdujących się w stanie zimnym i w stanie równowagi cieplnej.

## Wyniki pomiarów

### Gazowy grzejnik wody przepływowej – pierwsza grupa urządzeń

W tabelicy 6 przedstawiono wyniki pomiarów skorygowanego obciążenia cieplnego dla gazowego grzejnika wody

Tabela 6. Skorygowane obciążenie cieplne – gazowy grzejnik wody przepływowej

Rodzaj gazu	Skorygowane obciążenie cieplne [kW]	Rodzaj gazu	Skorygowane obciążenie cieplne [kW]
E	17,9	Lw	17,8
B + LNG <sub>(E)</sub>	16,3	B + LNG <sub>(Lw)</sub>	Badania przerwano ze względu na niestabilną pracę palnika, stwarzającą zagrożenie
B + LPG <sub>(E)</sub>	17,2	B + LPG <sub>(Lw)</sub>	

Tabela 7. Jakość spalania – gazowy grzejnik wody przepływowej

Rodzaj gazu	CO [ppm]	NO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]
E	21	72	32
B + LNG <sub>(E)</sub>	5	44	13
B + LPG <sub>(E)</sub>	5	26	9
Lw	34	67	27
B + LNG <sub>(Lw)</sub>	Badania przerwano ze względu na niestabilną pracę palnika, stwarzającą zagrożenie		
B + LPG <sub>(Lw)</sub>			

przepływowej przy zasilaniu urządzenia gazami odniesienia i badanymi mieszankami pod ciśnieniem nominalnym równym 20 hPa.

Wyniki pomiarów jakości spalania dla gazowego grzejnika wody przepływowej przy zasilaniu urządzenia gazami odniesienia i badanymi mieszankami pod ciśnieniem nominalnym równym 20 hPa ilustruje tabela 7.

Tabela 8. Wyniki sprawdzenia zapłonu, przenoszenia się i stabilności płomienia – gazowy grzejnik wody przepływowej

Rodzaj gazu	Stan nagrzania urządzenia	Zapłon płomienia	Przenoszenie się płomienia	Stabilność płomienia
E	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
B + LNG <sub>(E)</sub>	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
B + LPG <sub>(E)</sub>	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
Lw	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
B + LNG <sub>(Lw)</sub>	zimny	WZ	WN	WN
	gorący	WZ	WN	WN
B + LPG <sub>(Lw)</sub>	zimny	WZ	WN	WN
	gorący	WZ	WN	WN

WZ – wynik zgodny, WN – wynik niezgodny.

W tablicy 8 przedstawiono wyniki sprawdzenia zapłonu, przenoszenia się i stabilności płomienia przy zasilaniu gazowego grzejnika wody przepływowej gazami odniesienia i badanymi mieszankami pod ciśnieniem nominalnym równym 20 hPa w stanie zimnym i gorącym.

**Gazowy kocioł centralnego ogrzewania – druga grupa urządzeń**

Wyniki pomiarów skorygowanego obciążenia cieplnego dla gazowego kotła centralnego ogrzewania przy zasilaniu urządzenia gazami odniesienia i badanymi mieszankami pod ciśnieniem nominalnym równym 20 hPa przedstawiono w tablicy 9.

W tablicy 10 zamieszczono wyniki pomiarów jakości spalania dla gazowego kotła centralnego ogrzewania przy zasilaniu urządzenia gazami odniesienia i badanymi mieszankami pod ciśnieniem nominalnym równym 20 hPa.

Wyniki pomiarów zapłonu, przenoszenia się i stabilności płomienia przy zasilaniu gazowego kotła centralnego ogrzewania gazami odniesienia i badanymi mieszankami pod ciśnieniem nominalnym równym 20 hPa w stanie zimnym i gorącym zestawiono w tablicy 11.

Tablica 9. Skorygowane obciążenie cieplne – gazowy kocioł centralnego ogrzewania

Rodzaj gazu	Skorygowane obciążenie cieplne [kW]	Rodzaj gazu	Skorygowane obciążenie cieplne [kW]
E	19,7	Lw	19,4
B + LNG <sub>(E)</sub>	17,2	B + LNG <sub>(Lw)</sub>	18,5
B + LPG <sub>(E)</sub>	18,3	B + LPG <sub>(Lw)</sub>	19,2

Tablica 10. Jakość spalania – gazowy kocioł centralnego ogrzewania

Rodzaj gazu	CO [ppm]	NO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]
E	71	17	3
B + LNG <sub>(E)</sub>	20	7	2
B + LPG <sub>(E)</sub>	23	7	3
Lw	75	20	6
B + LNG <sub>(Lw)</sub>	47	12	4
B + LPG <sub>(Lw)</sub>	43	5	3

**Gazowa nagrzewnica powietrza – trzecia grupa urządzeń**

W tablicy 12 przedstawiono wyniki pomiarów skorygowanego obciążenia cieplnego dla gazowej nagrzewnicy powietrza przy zasilaniu urządzenia gazami odniesienia i badanymi mieszankami pod ciśnieniem nominalnym równym 20 hPa.

Tablica 11. Wyniki sprawdzenia zapłonu, przenoszenia się i stabilności płomienia – gazowy kocioł centralnego ogrzewania

Rodzaj gazu	Stan nagrzania urządzenia	Zapłon płomienia	Przenoszenie się płomienia	Stabilność płomienia
E	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
B + LNG <sub>(E)</sub>	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
B + LPG <sub>(E)</sub>	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
Lw	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
B + LNG <sub>(Lw)</sub>	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
B + LPG <sub>(Lw)</sub>	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ

WZ – wynik zgodny, WN – wynik niezgodny.

Tablica 13 ilustruje wyniki pomiarów jakości spalania dla gazowej nagrzewnicy powietrza przy zasilaniu urządzenia gazami odniesienia i badanymi mieszankami pod ciśnieniem nominalnym równym 20 hPa.

Tablica 12. Skorygowane obciążenie cieplne – gazowa nagrzewnica powietrza

Rodzaj gazu	Skorygowane obciążenie cieplne [kW]	Rodzaj gazu	Skorygowane obciążenie cieplne [kW]
E	31,3	Lw	30,7
B + LNG <sub>(E)</sub>	26,7	B + LNG <sub>(Lw)</sub>	29,4
B + LPG <sub>(E)</sub>	28,2	B + LPG <sub>(Lw)</sub>	30,0

Tablica 13. Jakość spalania – gazowa nagrzewnica powietrza

Rodzaj gazu	CO [ppm]	NO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]
E	18	73	13
B + LNG <sub>(E)</sub>	22	45	10
B + LPG <sub>(E)</sub>	39	38	11
Lw	16	70	13
B + LNG <sub>(Lw)</sub>	27	52	12
B + LPG <sub>(Lw)</sub>	47	43	13

W tablicy 14 przedstawiono wyniki pomiarów zapłonu, przenoszenia się i stabilności płomienia przy zasilaniu gazowej nagrzewnicy powietrza gazami odniesienia i badanymi mieszankami pod ciśnieniem nominalnym równym 20 hPa w stanie zimnym i gorącym.

Tablica 14. Wyniki sprawdzenia zapłonu, przenoszenia się i stabilności płomienia – gazowa nagrzewnica powietrza

Rodzaj gazu	Stan nagrzania urządzenia	Zapłon płomienia	Przenoszenie się płomienia	Stabilność płomienia
E	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
B + LNG <sub>(E)</sub>	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
B + LPG <sub>(E)</sub>	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
L <sub>w</sub>	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
B + LNG <sub>(L<sub>w</sub>)</sub>	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ
B + LPG <sub>(L<sub>w</sub>)</sub>	zimny	WZ	WZ	WZ
	gorący	WZ	WZ	WZ

WZ – wynik zgodny, WN – wynik niezgodny.

### Podsumowanie

Wartość obciążenia cieplnego przy zasilaniu badanych urządzeń wytypowanymi w niniejszej pracy mieszankami uległa obniżeniu w stosunku do obciążenia uzyskiwanego dla gazu odniesienia. Wynika to z faktu, że parametry energetyczne przygotowanych mieszanek odpowiadały minimalnym wymaganiom stawianym gazom drugiej rodziny grupy E i L<sub>w</sub>.

W praktyce, z punktu widzenia użytkowników gazowych grzejników wody przepływowej, spadek obciążenia znamionowego maksymalnie o około 10% przy zasilaniu ich mieszankami B + LNG<sub>(E)</sub> i B + LPG<sub>(E)</sub> będzie niezauważalny, gdyż urządzenia te zachowują swoją funkcję użytkową. Zazwyczaj użytkownicy nie wykorzystują pełnej mocy urządzenia i nastawiają pokrętki regulacji obciążenia cieplnego na niższe wartości. Podczas zasilania urządzenia mieszankami B + LNG<sub>(L<sub>w</sub>)</sub> i B + LPG<sub>(L<sub>w</sub>)</sub> jego palnik pracował niestabilnie. Ze względów bezpieczeństwa badania przerwano.

W przypadku modułacyjnych kotłów centralnego ogrzewania, które działają w oparciu o sterownik z tzw. pogodówką, lub są sterowane czujnikiem temperatury umieszczonym wewnątrz pomieszczenia, użytkownik nie odczuje niewielkiego spadku mocy grzewczej urządzenia. Dla gazowych jednostopniowych nagrzewnic powietrza typu włącz–wyłącz sterowanych temperaturą w obiekcie nieco niższe obciążenie cieplne palnika będzie skutkowało jedynie niewielkim wydłużeniem ich czasu pracy. Ewentualne ryzyko niedogrzenia obiektów w okresie występowania najniższych temperatur dla użytkowników kotłów cen-

tralnego ogrzewania i gazowych nagrzewnic powietrza niweluje to, że urządzenia te zazwyczaj są dobierane z pewnym naddatkiem mocy lub w praktyce ich moc jest znacznie przewymiarowana w stosunku do rzeczywistego zapotrzebowania obiektu na ciepło.

Jakość spalin z badanych urządzeń przy zasilaniu ich wytypowanymi mieszankami w stosunku do wartości stężeń tlenu węgla i NO<sub>x</sub> uzyskanych na gazach E i L<sub>w</sub> nie uległa pogorszeniu, poza spalinami z gazowego grzejnika wody przepływowej przystosowanego do spalania gazu L<sub>w</sub>, a zasilanego mieszankami B + LNG<sub>(L<sub>w</sub>)</sub> oraz B + LPG<sub>(L<sub>w</sub>)</sub> – badania przerwano ze względu na niestabilną pracę palnika urządzenia. W pozostałych przypadkach palniki urządzeń prawidłowo zapalały się, przenosiły płomień i nie zaobserwowano zjawiska odrywania się płomienia.

Reasumując, badania pokazały, że dla przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych gazy oznaczone jako B + LNG<sub>(E)</sub> i B + LPG<sub>(E)</sub> można spalać w urządzeniach przystosowanych do spalania gazu E bez potrzeby ich modyfikacji. Mieszanki gazowe oznaczone jako B + LNG<sub>(L<sub>w</sub>)</sub> i B + LPG<sub>(L<sub>w</sub>)</sub> spalały się prawidłowo w gazowym kotle centralnego ogrzewania oraz gazowej nagrzewnicy powietrza przystosowanych do gazu L<sub>w</sub>. Gazowy grzejnik wody przepływowej ze względu na prostotę konstrukcji (brak regulatora ciśnienia gazu) pracował niestabilnie. Nie wyklucza to jednak w pełni możliwości użytkowania powyższych mieszanek, gdyż istnieją bardziej zaawansowane gazowe grzejniki wody przepływowej – wyposażone w regulator ciśnienia gazu.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2016, nr 9, s. 747–754, DOI: 10.18668/NG.2016.09.10

Artykuł nadesłano do Redakcji 11.01.2016 r. Zatwierdzono do druku 17.06.2016 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Współspalanie biogazu rolniczego i LNG lub LPG jako alternatywa dla zatłaczania biogazu do sieci* – praca INiG na zlecenie MNiSW nr decyzji 202014/E-271/S/2015, nr zlecenia: 0052/GU/15/01, nr archiwalny: DK-4100-52/15.

## Literatura

- [1] HOLEWA J., KUKULSKA-ZAJĄC E., PĘGIELSKA M.: *Analiza możliwości wprowadzania biogazu do sieci przesyłowej*. Nafta-Gaz 2012, nr 8, s. 523–529.
- [2] PISKOWSKA-WASIAK J.: *Uzdatnianie gazów pochodzenia biologicznego w celu wytwarzania biopaliw i biokomponentów*. Nafta-Gaz 2013, nr 3, s. 241–255.
- [3] WOJTOWICZ R.: *Współspalanie biogazu rolniczego i LNG lub LPG jako alternatywa dla zatłaczaniu biogazu do sieci*. Praca statutowa Nr 0013/GU/14, listopad 2014.
- [4] PN-EN 1020:2010 *Gazowe ogrzewacze powietrza z wymuszoną konwekcją do ogrzewania pomieszczeń niemieszkalnych o obciążeniu cieplnym nieprzekraczającym 300 kW z wentylatorem wspomagającym doprowadzenie powietrza do spalania lub odprowadzenie spalin*.
- [5] PN-EN 26:2007 *Gazowe przepływowe ogrzewacze wody do celów sanitarnych, wyposażone w palniki atmosferyczne*.
- [6] PN-EN 677:2007 *Kotły centralnego ogrzewania opalane gazem – Specjalne wymagania dotyczące kotłów kondensacyjnych o znamionowym obciążeniu cieplnym nieprzekraczającym 70 kW*.

## Akty prawne i normatywne

- [4] PN-C-04753:2011 *Gaz ziemny – Jakość gazu dostarczanego odbiorcom z sieci dystrybucyjnej*.



Mgr inż. Tomasz SIUDA  
Specjalista inżynierjno-techniczny w Zakładzie  
Użytkowania Paliw.  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25 A  
31-503 Kraków  
E-mail: [tomasz.siuda@inig.pl](mailto:tomasz.siuda@inig.pl)



Mgr inż. Robert WOJTOWICZ  
Kierownik Laboratorium Badań Urządzeń Gazowni-  
czych i Grzewczych.  
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

### ZAKŁAD INŻYNIERII NAFTOWEJ

Zakres działania:

- analiza przyczyn oraz badania stopnia uszkodzenia skał zbiornikowych w strefie przyotworowej;
- ocena głębokości infiltracji fazy ciekłej do skał zbiornikowych;
- ocena wpływu roztworów soli i cieczy wiertniczych na skały ilaste strefy przyotworowej
- pomiary parametrów reologicznych cieczy i niektórych ciał stałych w zakresie temperatur od –40 do 200°C oraz ciśnień do 150 bar;
- badania oraz dobór cieczy roboczych i solanek do prac związanych z opróbowaniem i rekonstrukcją odwiertów;
- ocena stateczności ścian otworów wiertniczych;
- określanie zdolności produkcyjnej odwiertów;
- symulacja eksploatacji kawernowych podziemnych magazynów gazu w wysadach solnych, z uwzględnieniem konwergencji komór;
- zastosowanie technologii mikrobiologicznych do stymulacji odwiertów oraz usuwania osadów parafinowych w odwiertach i instalacjach napowierzchniowych;
- projektowanie zabiegów mikrobiologicznej intensyfikacji wydobywania ropy (MEOR);
- projektowanie zabiegów odcinania dopływu wód złożowych do odwiertów;
- określanie nieredukowalnego nasycenia próbek skały wodą złożową;
- testy zawadniania z użyciem wody, solanki lub CO<sub>2</sub>;
- fotograficzne dokumentowanie rdzeni wiertniczych;
- określanie właściwości mechanicznych oraz sejsmoakustycznych skał w próbach okruskowych;
- analiza zjawisk migracji i ekshalacji gazu ziemnego oraz występowania ciśnień w przestrzeniach międzyrurowych;
- modelowanie obiektów złożowych i opracowywanie specjalistycznego oprogramowania z zakresu inżynierii naftowej.



**Kierownik:** mgr inż. Paweł Budak  
**Adres:** ul. Lubicz 25 A, 31-503 Kraków  
**Telefon:** 12 61 77 665  
**Faks:** 12 430 38 85  
**E-mail:** [pawel.budak@inig.pl](mailto:pawel.budak@inig.pl)

