

Długotrwałe badania palników płyt i kuchni gazowych przy zasilaniu ich mieszaniną gazu ziemnego i wodoru

Long-term tests of gas burners mounted on hobs and cookers powered by a mixture of natural gas and hydrogen

Robert Wojtowicz

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki przeprowadzonych badań palników gazowych stosowanych w kuchniach i płytach gazowych. Badane palniki przeznaczone były do spalania gazu ziemnego wysokometanowego. Do badań wybrano palniki najczęściej montowane w urządzeniach AGD służących do przygotowywania posiłków w gospodarstwach domowych. Artykuł zawiera krótką charakterystykę palników gazowych, jak również skład oraz parametry energetyczne gazów wykorzystanych do badań. Głównym celem badań było sprawdzenie, czy wytypowane palniki gazowe utrzymują swoje wymiary geometryczne oraz parametry użytkowe przy długotrwałym spalaniu mieszaniny gazu ziemnego wysokometanowego z wodorem. Badania przeprowadzono, zasilając palniki gazem ziemnym wysokometanowym oraz mieszaniną gazu ziemnego wysokometanowego i wodoru (udział wodoru w mieszaninie wynosił 20%). Przed przystąpieniem do badań długotrwałych na wszystkich palnikach zmierzono jakość spalania (zawartość tlenu węgla i tlenków azotu w produktach spalania), sprawdzono zapłon, przenoszenie i stabilność płomienia oraz wymiary geometryczne palników (rozmiar otworów płomieniowych oraz masę nakrywki i pierścienia płomieniowego). Następnie wytypowane do badań palniki pracowały przez ok. 1095 godzin przy ich znamionowym obciążeniu cieplnym. Za okres badawczy przyjęto średni czas użytkowania palnika przez 2 lata, czyli przez czas, który odpowiada gwarancji na palniki udzielanej przez producenta. Po tym okresie badawczym ponownie zmierzono jakość spalania, sprawdzono stabilność płomienia oraz wymiary geometryczne palników gazowych. Zmierzono również temperaturę płomienia palników przy zasilaniu ich gazem ziemnym wysokometanowym 2E oraz mieszaniną gazu ziemnego wysokometanowego z wodorem. Do pomiaru jakości spalania oraz zapłonu, przenoszenia i stabilności płomienia wykorzystano metody badawcze opisane w normie PN-EN 30-1-1+A1:2024-06. Końcowa część artykułu zawiera omówienie wyników badań, jak również wnioski końcowe. Najważniejszy wniosek, jaki został sformułowany, mówi, że w założonym okresie użytkowania, który odpowiadał dwóm latom użytkowania palników w gospodarstwie domowym, wytypowane do badań palniki gazowe przystosowane do spalania gazu ziemnego wysokometanowego nadają się do spalania mieszaniny tego gazu z wodorem zawierającej w swoim składzie nawet 20% H₂.

Słowa kluczowe: gaz ziemny, wodór, palniki gazowe, płyty gazowe, kuchnie gazowe, badania długotrwałe.

ABSTRACT: This article presents the results of tests conducted on gas burners used in gas cookers and hobs. The tested burners were designed for the combustion of natural gas. The selected burners are among the most commonly installed in household appliances used for meal preparation in domestic kitchens. The article includes a brief overview of gas burner types, as well as the composition and energy parameters of the gases used in the tests. The main objective of the tests was to determine whether the selected gas burners maintain their geometric dimensions and operational parameters during prolonged combustion of a mixture of natural gas and hydrogen. The tests were carried out using both natural gas and a mixture of natural gas with hydrogen (with a hydrogen content of 20%). Prior to long-term testing, combustion quality (carbon monoxide and nitrogen oxides in combustion products), ignition, cross-lighting, flame stability, and the burners' geometric dimensions (size of flame ports, mass of burner cap and flame ring) were measured for all burners. The selected burners were then operated for approximately 1,095 hours at their nominal heat load. This test period corresponds to an average burner usage time of two years – the standard warranty period provided by manufacturers. After this test period, combustion quality, flame stability, and burner geometry were measured again. Flame temperature was also measured for both natural gas (2E) and the natural gas-hydrogen mixture. The measurement procedures for combustion quality, ignition, cross-lighting, and flame stability followed test methods described in PN-EN 30-1-1+A1:2024-06. The final section of the article discusses the test results and presents concluding remarks. The most important conclusion formulated is that, within the assumed service life corresponding to two years of burner operation in a household, the gas burners selected for testing – designed for burning natural gas – are suitable for burning a mixture of this gas with hydrogen containing up to 20% H₂.

Key words: natural gas, hydrogen, gas burners, gas hob, gas cooker, long-term tests.

Autor do korespondencji: R. Wojtowicz, e-mail: robert.wojtowicz@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 15.10.2025 r. Zatwierdzono do druku: 25.11.2025 r.

Wprowadzenie

Emisję gazów cieplarnianych, w tym dwutlenku węgla, który pochodzi ze spalania paliw kopalnych, uważa się za jedną z głównych przyczyn zmian klimatu obserwowanych w ostatnich dziesięcioleciach. Dlatego też, szczególnie w Unii Europejskiej, podejmowane są działania zmierzające do ograniczenia stosowania paliw kopalnych i zwiększenia wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Na obszarze Polski w ostatnich kilkunastu latach obserwuje się coraz większą liczbę źródeł energii odnawialnej przyłączonych do systemu elektroenergetycznego, w tym szczególnie źródeł napędzanych siłą wiatru oraz wykorzystujących energię słoneczną. Przyłączenie tego typu źródeł energii elektrycznej, które są źródłami niestabilnymi, do systemu elektroenergetycznego powoduje, że występują okresy nadwyżek energii elektrycznej, której nie można w prosty sposób magazynować. Jak podają Jaworski i in. (2020), jedynym technicznie i ekonomicznie wykonalnym systemem pozwalającym na zapewnienie długoterminowego oszczędzania energii odnawialnej jest system oparty na chemicznym magazynowaniu energii. Wytworzoną w źródłach odnawialnych energię elektryczną można przekształcić w energię chemiczną do postaci wodoru i w takiej formie magazynować. Do magazynowania wodoru mogą zostać zaimplementowane np. istniejące sieci gazowe, które pozwalają nie tylko na przechowywanie energii w postaci wodoru, ale również na transportowanie wodoru (energii) z miejsca jego produkcji do miejsc najbardziej efektywnego jego wykorzystania (Jaworski i in., 2019). Jednak według Jaworskiego i Dudka (2020) zatłaczanie wodoru do sieci gazowej, ze względu na jego właściwości fizykochemiczne, stanowi poważne wyzwanie, które w ostatnich latach na świecie jest przedmiotem badań. Badana jest wrażliwość na udział wodoru w gazie ziemnym takich elementów systemu gazowniczego jak: sprężarki, systemy rurowe, armatura gazowa, urządzenia do regulacji ciśnienia gazu, urządzenia pomiarowe służące do dokonywania pomiarów ilości dostarczanego paliwa gazowego czy też urządzenia spalające paliwa gazowe (Jaworski i Dudek, 2020). W artykule Król i in. (2022) zaprezentowano tezę, że w perspektywie lat 2025–2030 nastąpi zwiększenie wykorzystania wodoru jako paliwa transportowego (m.in. w transporcie samochodowym, ciężkim kołowym i kolejowym). Rozważane są również zmiany polegające na wykorzystaniu wodoru pochodzącego ze źródeł odnawialnych w obszarze budownictwa i energetyki, a także wytwarzania ciepła technologicznego.

Zhao i in. (2019a) zaprezentowali wyniki badań palnika gazowego piekarnika zasilanego różnymi mieszankami gazu ziemnego i wodoru. Autorzy skupili się m.in. na pomiarach emisji spalin, czasu zapłonu, stabilności płomienia (a w zasadzie na zjawisku cofania się płomienia) oraz głośności spalania.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzili, że z uwagi na stabilność płomienia maksymalna ilość wodoru, jaka może znajdować się w mieszaninie z gazem ziemnym, to 25%. Problem związany ze stabilnością płomienia, a dokładniej ze zjawiskiem cofania się płomienia w palnikach domowych urządzeń gazowych zasilanych mieszaninami gazu ziemnego z wodorem, rozważali również De Vries i Levinsky (2020). Wyszuli oni wniosek, że aby rozszerzyć możliwości dodawania wodoru do gazu ziemnego poza granice określone przez istniejące zakresy liczby Wobbego, należy przeanalizować normy wykorzystywane w certyfikacji urządzeń gazowych oraz przepisy dotyczące gazów, aby ocenić, w jakim stopniu wyższe dodatki wodoru są lub mogą być dopuszczalne.

W kolejnym artykule, który dotyczy zagadnienia stabilności płomienia w domowych urządzeniach gazowych zasilanych mieszaniną wodoru i gazu ziemnego, autorzy skupili się nie tylko na zjawisku cofania się płomienia, ale również na odrywaniu się płomienia (Jones i in., 2018). W artykule tym podano, że jeżeli chodzi o stabilność pracy typowych urządzeń domowych stosowanych w Wielkiej Brytanii, to jest ona zapewniona nawet przy 30% zawartości wodoru w mieszaninie z gazem ziemnym. Autorzy jednak zwrócili uwagę, że przy takim stężeniu wodoru parametry energetyczne (ciepło spalania, wartość opałowa) powstałej mieszanki gazu ziemnego i wodoru obniżają się poniżej określonych w przepisach wartości. Zhao i in. (2019b) przedstawili wyniki badań wpływu dodatku wodoru do gazu ziemnego na pracę palnika gazowego montowanego w domowych płytach kuchennych w USA. Zbadali następujące parametry: czas zapłonu, wygląd płomienia, sprawność gotowania, głośność spalania, skład spalin oraz temperaturę palnika. W badaniach wykorzystywali mieszanki gazu ziemnego z wodorem zawierające w swoim składzie maksymalnie 75% wodoru. Jeden z ich głównych wniosków był taki, że palniki stosowane w domowych płytach kuchennych mogą pracować bezpiecznie i wydajnie przy zasilaniu ich mieszaniną gazu ziemnego i wodoru zawierającą do 20% wodoru (Zhao i in., 2019b). Ozturk i in. (2023) zaprezentowali wyniki badań, których celem było zbadanie wpływu konstrukcji głowicy palnika stosowanego w kuchenkach gazowych na jego sprawność przy zasilaniu go gazem ziemnym oraz mieszaniną gazu ziemnego i wodoru. Fang i in. (2023) przedstawili rezultaty badań, które polegały na sprawdzeniu wpływu dodatku wodoru do gazu ziemnego na pracę trzech palników gazowych o różnej konstrukcji stosowanych w kuchenkach gazowych. Wytypowane do badań palniki zasilane były mieszankami gazu ziemnego z wodorem, w których udział wodoru wynosił 5%, 10%, 15%, 20% i 25%. Wyniki eksperymentów pokazały, że długość płomienia skraca się wraz ze wzrostem udziału wodoru w mieszaninie, a płomienie pozostają stabilne nawet przy 25-proc. zawartości wodoru w mieszaninie. Badania te

dotyczyły również zawartości CO i NO_x w spalinach. Jeśli chodzi o zawartość CO w spalinach, to obniżyła się ona wraz ze wzrostem udziału wodoru w mieszaninie, podczas gdy zawartość NO_x pozostała niemal niezmienna. Wojtowicz i Jaworski (2021) zaprezentowali wynik badań parametrów użytkowych i bezpieczeństwa urządzeń gazowych zasilanych mieszaniną wodoru i gazu ziemnego zaazotowanego Lw. Wśród sprawdzanych urządzeń były 2 płyty gazowe wyposażone w różne typy palników gazowych. W ramach tych badań sprawdzano znamionowe obciążenie cieplne, sprawność cieplną, jakość spalania, zapłon, przenoszenie się i stabilność płomienia. Wyniki badań pokazały m.in., że dodanie około 13,2% wodoru do gazu ziemnego zaazotowanego Lw nie powoduje pogorszenia bezpieczeństwa pracy, czyli zwiększenia zawartości tlenu węgla, tlenków azotu oraz węglowodorów w spalinach, czy też niestabilnej pracy palników.

Powyższy przegląd literaturowy obrazuje, że w wielu artykułach prezentowane są wyniki oceny stabilności płomienia palników zasilanych mieszaninami gazu ziemnego i wodoru, jak również emisji spalin. Badania te prowadzone były na palniku piekarnika gazowego oraz na palniku przeznaczonym do zastosowania w domowych płytach czy kuchniach gazowych. W przypadku palnika przeznaczonego do domowych płyt czy kuchni gazowych (typowego w urządzeniach stosowanych w USA) oceniano również sprawność gotowania, jednak zastosowana metodyka pomiaru sprawności różni się od stosowanej w normach europejskich.

Przeprowadzona analiza artykułów pokazuje, że brak jest badań wpływu dodatku wodoru do gazu ziemnego na trwałość konstrukcji palników gazowych stosowanych w kuchniach czy też płytach użytku domowego.

Dlatego też w INiG – PIB zdecydowano się przeprowadzić takie badania na palnikach gazowych, które są najczęściej montowane w kuchniach i płytach gazowych użytku domowego.

Badane parametry oraz metody badań

Aby palniki gazowe były bezpieczne dla użytkowników, konieczne jest, aby zapłon, przenoszenie i stabilność płomienia były poprawne oraz aby emisja substancji szkodliwych (tlenku węgla) nie przekraczała dopuszczalnych obowiązującymi przepisami wartości. Na stabilną pracę palników oraz na emisję tlenku węgla mają wpływ takie parametry jak:

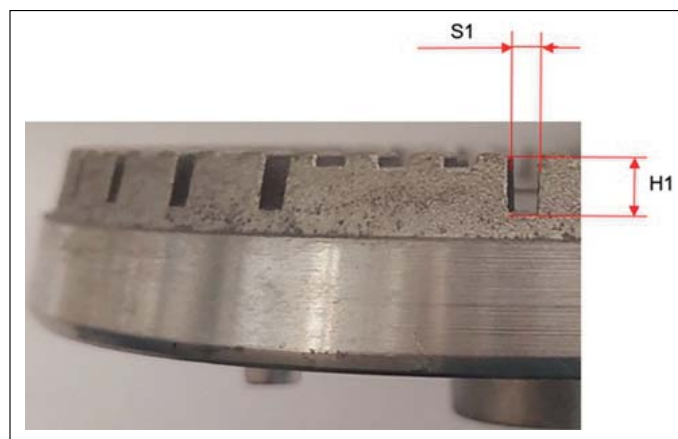
- kształt i rozmiar dyszy;
- stabilność wymiarów geometrycznych palnika, a w szczególności wymiary otworów płomieniowych.

Z racji tego, że najbardziej narażone na działanie temperatury są otwory płomieniowe palników, aby określić wpływ dodatku wodoru do gazu ziemnego wysokometanowego

na wymiary geometryczne palników, zmierzono wymiary wszystkich otworów płomieniowych oraz średnicę zewnętrzną pierścienia płomieniowego przed badaniami długotrwałymi i po nich. Na początku oraz na końcu założonego okresu badawczego zmierzono również masę nakrywki oraz pierścienia płomieniowego. Za okres badawczy przyjęto średni czas użytkowania palnika przez 2 lata, czyli przez okres, który odpowiada gwarancji na palniki udzielanej przez producenta. Założono, że średnio palnik w gospodarstwie domowym jest używany 1,5 godziny dziennie. W związku z tym obliczono, że badane palniki będą pracować $1,5 \text{ godziny} \times 365 \text{ dni} \times 2 \text{ lata}$, co daje 1095 godzin.

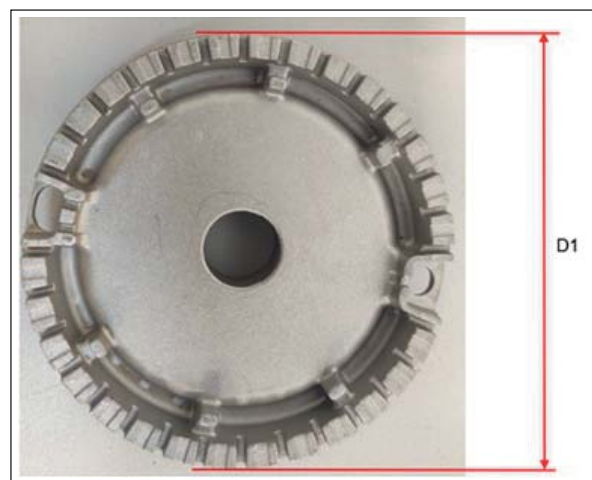
Sposób pomiaru otworów płomieniowych przedstawiono na rysunku 1, natomiast średnicy pierścienia płomieniowego – na rysunku 2.

Do pomiaru jakości spalania oraz zapłonu, przenoszenia i stabilności płomienia wykorzystano metody badawcze opisane w normie (Norma PN-EN 30-1-1). Badania składu spalin pochodzących ze spalania gazu ziemnego wysokometanowego 2E



Rysunek 1. Sposób pomiaru otworów płomieniowych

Figure 1. Method of measuring flame ports



Rysunek 2. Sposób pomiaru średnicy pierścienia płomieniowego

Figure 2. Method of measuring the diameter of the flame ring

oraz mieszaniny gazu ziemnego wysokometanowego z wodorem EH20% wykonywano przy ustawieniu każdego palnika na jego znamionowe obciążenie cieplne przy ciśnieniu zasilania 20 mbar. Skład spalin zmierzono przed badaniami długotrwałymi oraz po ich zakończeniu. Również zapłon, przenoszenie i stabilność płomienia sprawdzane były przed badaniami długotrwałymi i po nich przy zasilaniu palników gazami 2E oraz EH20%. Zapłon i przenoszenie płomienia sprawdzano przy ciśnieniu zasilania gazu 20 mbar, natomiast stabilność przy ciśnieniu 17 mbar (cofanie płomienia) oraz przy ciśnieniu 25 mbar (odrywanie płomienia). Do badań, tam gdzie to miało zastosowanie, wykorzystywano przyrządy pomiarowe, które spełniały wymagania odnośnie do niepewności pomiarów, jakie zostały określone w normie (Norma PN-EN 30-1-1).

Gazy do badań

W tabeli 1 zaprezentowano średni skład gazu ziemnego wysokometanowego i średni skład mieszaniny gazu ziemnego wysokometanowego i wodoru (udział wodoru 20%) oraz parametry energetyczne tych gazów. 20-proc. udział wodoru

w mieszaninie z gazem ziemnym, którą wykorzystano w badaniach, ustalono na podstawie wyników badań uzyskanych w trakcie prac badawczych przeprowadzonych w INiG – PIB w latach 2017–2023. Wspólnym motywem przewodnim tych prac była możliwość współspalania mieszaniny gazu ziemnego i wodoru w urządzeniach gazowych użytku domowego i komercyjnego. Średni skład gazu ziemnego wysokometanowego obliczono ze średnich miesięcznych w okresie od stycznia do listopada 2024 r.

Charakterystyka palników X i Y

Do badań długotrwałych wybrano palniki gazowe, które są obecnie najczęściej montowane w płytach i kuchniach gazowych. Palniki te w trakcie badań były zamontowane w domowych kuchniach gazowych i zostały oznaczone jako X i Y. Palniki gazowe, które zostały poddane badaniom, to palniki kinetyczno-dyfuzyjne, których charakterystykę przedstawiono w tabeli 2. Cechują się one dwuetapowym procesem mieszania spalanego gazu z utleniaczem, czyli powietrzem. W pierwszym etapie następuje zmieszanie gazu z powietrzem pierwotnym, którego ilość nie przekracza przeważnie 60%

Tabela 1. Skład oraz parametry energetyczne gazów wykorzystanych do badań

Table 1. Composition and energy parameters of the gases used for the tests

Parametr		Jednostka	Oznaczenia gazów oraz wartość parametru	
			2E*	EH20%
Skład gazu	metan	%	92,36	73,89
	etan		4,98	3,98
	propan		0,67	0,54
	i-butan		0,08	0,06
	n-butan		0,10	0,08
	i-pentan		0,01	0,01
	n-pentan		0,01	0,01
	C6+		0,02	0,02
	wodór		–	20,00
	dwutlenek węgla		0,83	0,66
	azot		0,94	0,75
Ciepło spalania, H_s		MJ/m ³	41,24	35,58
Wartość opałowa, H_i		MJ/m ³	37,22	31,98
Liczba Wobbego (górna), W_s		MJ/m ³	53,19	50,55
Liczba Wobbego (dolna), W_i		MJ/m ³	48,03	45,43
Gęstość, ρ		kg/m ³	0,778	0,641
Gęstość względna, d		–	0,601	0,495
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 457 Śledziejowice k. Arcelor Mittal (GAZ System, 2024). Wyjaśnienie oznaczeń zastosowanych w tabeli: 2E – gaz ziemny wysokometanowy, EH20% – mieszanina gazu ziemnego wysokometanowego i wodoru zawierająca w swoim składzie 20% wodoru.				

Tabela 2. Charakterystyka palników gazowych wykorzystanych w badaniach**Table 2.** Characteristics of the gas burners used in the tests

Parametr	Jednostka	Palniki X			Palniki Y		
Materiał	–	GD-ALSi12Cu			GD-ALSi12Cu		
Wielkość palnika	–	mały	średni	duży	mały	średni	duży
Obciążenie cieplne palnika	kW	1,00	1,75	3,00	1,00	1,80	2,80
Liczba otworów płomieniowych	szt.	16	20	28	17	22	30

ilości stechiometrycznej wynikającej ze składu paliwa gazowego. Tak przygotowana mieszanka wypływa z otworów płomieniowych, ulega zapaleniu i w trakcie spalania pobierane jest na drodze dyfuzji tzw. powietrze wtórne (jest to drugi etap mieszania gazu i powietrza do spalania). Każdy z badanych

palników zbudowany jest z korpusu dyfuzora, pierścienia płomieniowego i nakrywki.

Przykładowe zdjęcia palnika X średniego przedstawiono na rysunkach od 3a do 3d, natomiast zdjęcia palnika Y średniego – na rysunkach od 4a do 4d.



Rysunek 3a. Palnik X średni – widok pierścienia płomieniowego od góry

Figure 3a. Burner X (semirapid) – top view of the flame ring



Rysunek 4a. Palnik Y średni – widok pierścienia płomieniowego od góry

Figure 4a. Burner Y (semirapid) – top view of the flame ring



Rysunek 3b. Palnik X średni – widok pierścienia płomieniowego od dołu

Figure 3b. Burner X (semirapid) – view of the flame ring from below



Rysunek 4b. Palnik Y średni – widok pierścienia płomieniowego od dołu

Figure 4b. Burner Y (semirapid) – view of the flame ring from below



Rysunek 3c. Palnik X średni – widok nakrywki

Figure 3c. Burner X (semirapid) – view of the cap



Rysunek 4c. Palnik Y średni – widok nakrywki

Figure 4c. Burner Y (semirapid) – view of the cap



Rysunek 3d. Palnik X średni – korpus dyfuzora

Figure 3d. Burner X (semirapid) – diffuser bod



Rysunek 4d. Palnik Y średni – korpus dyfuzora

Figure 4d. Burner Y (semirapid) – diffuser bod

Wyniki pomiarów

Tabela 3. Wyniki pomiarów wymiarów geometrycznych przed badaniami długotrwałymi i po nich

Table 3. Results of geometric dimension measurements before and after long-term testing

Parametr	Jednostka	Palniki X			Palniki Y		
Gaz do badań		2E			2E		
Wielkość palnika		mały	średni	duży	mały	średni	duży
Maksymalna różnica szerokości otworów przed badaniami długotrwałymi i po nich	mm	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Maksymalna różnica wysokości otworów przed badaniami długotrwałymi i po nich		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Różnica średnicy pierścienia płomieniowego przed badaniami długotrwałymi i po nich		0,02	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02
Gaz do badań		EH20%			EH20%		
Wielkość palnika		mały	średni	duży	mały	średni	duży
Maksymalna różnica szerokości otworów przed badaniami długotrwałymi i po nich	mm	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Maksymalna różnica wysokości otworów przed badaniami długotrwałymi i po nich		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Różnica średnicy pierścienia płomieniowego przed badaniami długotrwałymi i po nich		0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00

Uwaga: Niepewność rozszerzona wyznaczenia różnic w wymiarach przed badaniami długotrwałymi i po nich wynosi 0,03 mm.

Tabela 4. Zawartość CO i NO_x w spalinach w przypadku palników X przed badaniami długotrwałymi i po nich

Table 4. CO and NO_x concentrations in the flue gas for X burners before and after long-term testing

JAKOŚĆ SPALANIA					
Gaz do badań		2E		EH20%	
Warunki badań		przed badaniami	po badaniach	przed badaniami	po badaniach
Zawartość CO w spalinach suchych* [ppm]					
Palnik	duży	118 ±33	111 ±31	41 ±37	37 ±33
	średni	53 ±39	56 ±41	28 ±50	26 ±46
	mały	62 ±57	59 ±54	31 ±57	35 ±64
Zawartość NO _x w spalinach suchych* [ppm]					
Palnik	duży	72 ±3	73 ±3	73 ±3	75 ±4
	średni	66 ±3	65 ±3	71 ±4	69 ±4
	mały	62 ±3	64 ±3	66 ±5	68 ±5

Uwaga: Wyniki pomiaru zawartości CO i NO_x w spalinach podano w przeliczeniu na suche, nierozcieńczone powietrzem spaliny wraz z rozszerzoną niepewnością pomiaru.

Tabela 5. Zawartość CO i NO_x w spalinach w przypadku palników Y przed badaniami długotrwałymi i po nich

Table 5. CO and NO_x concentrations in the flue gas for Y burners before and after long-term testing

JAKOŚĆ SPALANIA					
Gaz do badań		2E		EH20%	
Warunki badań		przed badaniami	po badaniach	przed badaniami	po badaniach
Zawartość CO w spalinach suchych* [ppm]					
Palnik	duży	442 ±32	453 ±33	256 ±31	252 ±31
	średni	478 ±45	472 ±44	301 ±40	305 ±41
	mały	851 ±99	862 ±100	299 ±72	308 ±74
Zawartość NO _x w spalinach suchych* [ppm]					
Palnik	duży	67 ±3	65 ±3	66 ±3	67 ±3
	średni	64 ±3	63 ±3	68 ±3	66 ±3
	mały	58 ±4	59 ±4	61 ±5	63 ±5

Uwaga: Wyniki pomiaru zawartości CO i NO_x w spalinach podano w przeliczeniu na suche, nierozcieńczone powietrzem spaliny wraz z rozszerzoną niepewnością pomiaru.

Tabela 6. Temperatura płomienia palników gazowych**Table 6.** Flame temperature of gas burners

Temperatura płomienia [°C]			
Palnik		Gaz do badań	
		2E	EH20%
Palniki X	duży	797,1 ±0,7	815,3 ±0,7
	średni	804,8 ±0,7	819,9 ±0,7
	mały	821,7 ±0,7	848,1 ±0,7
Palniki Y	duży	817,9 ±0,7	836,3 ±0,7
	średni	751,0 ±0,7	777,5 ±0,7
	mały	745,0 ±0,7	774,6 ±0,7
Uwaga: Wyniki pomiaru temperatury podano wraz z rozszerzoną niepewnością pomiaru.			

Omówienie wyników badań

Porównując zawartości tlenku węgla (CO) i tlenków azotu (NO_x) w spalinach uzyskane przy spalaniu gazu ziemnego wysokometanowego 2E i mieszaniny gazu ziemnego wysokometanowego z wodorem EH20% w wytypowanych do badań palnikach stosowanych w kuchniach i płytach gazowych użytku domowego poczyniono następujące obserwacje:

- nie odnotowano znaczącej różnicy pomiędzy wartościami stężenia tlenku węgla (CO) w spalinach przed badaniami długotrwałymi i po nich ani w przypadku gazu 2E, ani mieszaniny EH20% zarówno na palnikach X, jak i palnikach Y (patrz tabele 4 i 5). Zmierzone różnice mieszczą się w granicach błędu pomiarowego stosowanego analizatora spalin;
- stężenie tlenku węgla (CO) w spalinach w przypadku wszystkich badanych palników spadło przy zasilaniu ich mieszaniną EH20% w stosunku do gazu 2E. Efekt ten wystąpił zarówno przed badaniami długotrwałymi, jak i po nich. W przypadku palników X największy spadek stężenia tlenku węgla w spalinach stwierdzono dla palnika dużego (około 3-krotny), natomiast w przypadku palników Y – dla palnika małego (około 2,8-krotny);
- nie odnotowano znaczącej różnicy pomiędzy wartościami stężenia tlenków azotu (NO_x) w spalinach przed badaniami długotrwałymi i po nich ani w przypadku gazu 2E, ani mieszaniny EH20% zarówno na palnikach X, jak i palnikach Y. Zmierzone zawartości NO_x w spalinach nie różnią się między sobą w sposób statystycznie istotny;
- nie odnotowano wpływu dodatku wodoru do gazu ziemnego na stężenie tlenków azotu (NO_x) w spalinach. Zmierzone wartości NO_x w spalinach, biorąc pod uwagę wszystkie palniki przed badaniami długotrwałymi i po nich, jak również gaz 2E i mieszaninę EH20%, mieszczą się w zakresie od 58 ppm do 75 ppm w przeliczeniu na suche, nierozcieńczone spaliny.

Jeżeli chodzi o zachowywanie się płomieni w trakcie badań, to w żadnym wypadku nie odnotowano problemów z zapłonem, przenoszeniem się i stabilnością płomienia. Nie zaobserwowano zjawiska odrywania czy cofania się płomienia.

Analizując wymiary geometryczne wszystkich palników gazowych, nie odnotowano zmiany wymiarów, które są istotne z punktu widzenia ich prawidłowej pracy (patrz tabela 3). Ani szerokość, ani wysokość otworów płomieniowych po badaniach długotrwałych nie uległa zmianie przy zasilaniu palników gazem ziemnym wysokometanowym 2E, jak i mieszaniną gazu ziemnego z wodorem EH20%. Nie uległy zmianie również średnice pierścieni płomieniowych. Niewielkie różnice w wymiarach, które przedstawiono w tabeli 3, mieszczą się w granicach błędu pomiarowego.

Zmierzono również masę poszczególnych ruchomych części każdego badanego palnika mających bezpośredni kontakt z płomieniem, czyli nakrywki i pierścienia płomieniowego. Pomiaru dokonano przed badaniami długotrwałymi i po nich zarówno dla palników zasilanych gazem ziemnym wysokometanowym 2E, jak i mieszaniną tego gazu ziemnego z wodorem EH20%. Stwierdzone różnice w masie mieszczą się w granicach błędu pomiarowego.

Wnioski

Przeprowadzone badania pokazały, że w założonym okresie użytkowania, który odpowiadał dwóm latom korzystania w gospodarstwie domowym, konstrukcja palników jest odporna na spalanie w nich mieszaniny wodoru i gazu ziemnego wysokometanowego zawierającej w swoim składzie 20% wodoru. Wniosek ten sformułowano, analizując wymiary geometryczne oraz masę poddanych badaniom długotrwałym palników gazowych. Z punktu widzenia zapewnienia bezpiecznej pracy palników istotne jest, aby wymiary otworów płomieniowych nie zmieniały się w trakcie użytkowania.

Gwarantuje to prawidłową pracę palników pod względem właściwego zapłonu, przenoszenia i stabilności płomieni. Wyniki pomiarów pokazują, że szerokości, jak i wysokości otworów płomieniowych po badaniach długotrwałych nie zmieniły się przy zasilaniu palników zarówno gazem ziemnym wysokometanowym 2E, jak i mieszaniną gazu ziemnego z wodorem EH20%. Znalazło to również odzwierciedlenie w badaniach zachowania się płomieni, a mianowicie:

- zapłon i przenoszenie się płomieni następowały łagodnie w ciągu 5 sekund od przekręcenia kurka każdego palnika w pozycję zapłonu;
- po zapłonie płomienie były stabilne i spokojne;
- jeżeli kurek palnika był przekręcony w pozycję obciążenia zmniejszonego, płomienie palnika nie cofały się do jego wnętrza ani nie gasły.

Podczas analizy wyników zawartości tlenu węgla w spaliniach na uwagę zasługuje fakt, że stężenie tego związku w spaliniach, w przypadku wszystkich badanych palników, spadło przy zasilaniu ich mieszaniną EH20% w stosunku do gazu 2E. Obecność wodoru w mieszaninie z gazem ziemnym powoduje zwiększenie się temperatury płomienia (patrz tabela 6) i prędkości spalania w porównaniu z gazem ziemnym bez wodoru, co – jak pokazują wyniki badań – sprzyja poprawie jakości spalania węglowodorów zawartych w mieszaninie gazu ziemnego i wodoru.

Patrzac na wyniki zawartości tlenków azotu w spaliniach, stwierdzono, że zawartości NO_x w spaliniach nie różnią się między sobą w sposób statystycznie istotny.

Reasumując, stwierdzono, że wytypowane do badań palniki gazowe przeznaczone do spalania gazu ziemnego wysokometanowego nadają się do spalania mieszaniny tego gazu z wodorem zawierającej w swoim składzie nawet 20% H_2 .

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Długotrwałe badania palników płyt i kuchni gazowych przy zasilaniu ich mieszaniną gazu ziemnego i wodoru*, INiG – PIB; nr zlecenia: 0081/GU/2024, nr archiwalny: DK-4100-0080/2024.

Literatura

- De Vries H., Levinsky H.B., 2020. Flashback, burning velocities and hydrogen admixture: Domestic appliance approval, gas regulation and appliance development. *Applied Energy*, 259: 114116. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114116.
- Fang Z., Zhang S., Huang X., Hu Y., Xu Q., 2023. Performance of three typical domestic gas stoves operated with methane-hydrogen

mixture. *Thermal Engineering*, 41: 102631. DOI: 10.1016/j.csite.2022.102631.

GAZ System. <<https://swi.gaz-system.pl/swi/public/#!/gas/quality/params/monthly?lang=pl>> (dostęp: styczeń–grudzień 2024).

Jaworski J., Dudek A., 2020. Study of the effects of changes in gas composition as well as ambient and gas temperature on errors of indications of thermal gas meters. *Energies*, 13(20): 5428. DOI: 10.3390/en13205428.

Jaworski J., Kułaga P., Blacharski T., 2020. Study of the effect of addition of hydrogen to natural gas on diaphragm gas meters. *Energies*, 13(11): 3006. DOI: 10.3390/en13113006.

Jaworski J., Kukulska-Zajac E., Kułaga P., 2019. Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu dodatku wodoru do gazu ziemnego na elementy systemu gazowniczego. *Nafta-Gaz*, 75(10): 625–632. DOI: 10.18668/NG.2019.10.04.

Jones D.R., Al-Masry W.A., Dunnill Ch.W., 2018. Hydrogen-enriched natural gas as a domestic fuel: an analysis based on flash-back and blow-off limits for domestic natural gas appliances within the UK. *Sustainable Energy & Fuels*, 2: 710–723. DOI: 10.1039/C7SE00598A.

Król A., Kukulska-Zajac E., Holewa-Rataj J., Gajec M., 2022. Wodór jako element transformacji energetycznej. *Nafta-Gaz*, 78(7): 524–534. DOI: 10.18668/NG.2022.07.04.

Ozturk M., Sorgulu F., Javani N., Dincer I., 2024. Experimental investigation of various burner heads in residential gas stoves tested with hydrogen and natural gas blends. *Hydrogen Energy*, 53: 1344–1349. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.11.349.

Wojtowicz R., Jaworski J., 2021. Operation Analysis of Selected Domestic Appliances Supplied with Mixture of Nitrogen-Rich Natural Gas with Hydrogen. *Sustainability*, 13(24): 13577. DOI: 10.3390/su132413577.

Zhao Y., McDonell V., Samuelsen S., 2019a. Experimental assessment of the combustion performance of an oven burner operated on pipeline natural gas mixed with hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(23): 26049–26062. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.08.011.

Zhao Y., McDonell V., Samuelsen S., 2019b. Influence of hydrogen addition to pipeline natural gas on the combustion performance of a cooktop burner. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(23): 12239–12253. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.03.100.

Akty prawne i normatywne

PN-EN 30-1-1+A1:2024-06 Domowe urządzenia do gotowania i pieczenia spalające gaz. Część 1-1: Bezpieczeństwo. Postanowienia ogólne.



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