

## Mieszalnia gazów jako niezbędny element aparatury badawczej w nowoczesnym laboratorium paliw gazowych

### Gas mixing plant as an indispensable element of equipment in a modern laboratory of gaseous fuels

Maciej Basiura, Mateusz Rataj

*Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

**STRESZCZENIE:** Autorzy przedstawiają rozwój technologii otrzymywania mieszanin gazowych w Laboratorium Badań Urządzeń Gazowych i Grzewczych Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego w Krakowie. We wstępie do artykułu zwrócono uwagę na konieczność stosowania mieszanek gazowych o różnym składzie procentowym podczas badań urządzeń gazowych, na potrzeby certyfikacji i dopuszczenia do udostępnienia urządzeń do obrotu na rynku UE. Zaprezentowano najprostsze metody otrzymywania mieszanek gazowych. Przedstawiono metody stosowane w Laboratorium we wcześniejszych latach, dzięki którym otrzymywano mieszanki badawcze bez użycia urządzeń automatycznej regulacji strumienia gazu. Do tworzenia mieszanek wykorzystywano prawa fizyczne opisujące stany równowagi mieszaniny gazowej. Następnie przedstawiono zasadę działania mieszalni gazów oraz elementy umożliwiające jej automatyzację. Opisano opracowane w INiG – PIB konstrukcje mieszalni gazów do badań, umożliwiające automatyczne otrzymywanie mieszanin gazowych. Zaprezentowano również mieszalnik, będący przedmiotem zgłoszenia patentowego. W drugiej części artykułu przedstawiono szeroki zakres prac badawczych i rozwojowych wykonanych przez pracowników Instytutu na przestrzeni lat. Pokróćce opisano prace badawcze, skupiające się m.in. na wymienności paliw gazowych. Polegały one na badaniu parametrów użytkowych urządzeń gazowych podczas zasilania gazami z domieszkami różnych gazów w ilościach niespotykanych obecnie w gazie ziemnym, np. etanu, wodoru, tlenku węgla(IV). Innymi opisanymi w artykule tematami podjętymi przez pracowników INiG – PIB jest wykorzystanie wodoru jako domieszki do gazu ziemnego i przedstawienie jego wpływu na wszystkie elementy sieci przesyłowej i dystrybucyjnej. Wszystkie opisane prace badawcze podejmowane przez pracowników INiG – PIB mogą stać się ważną częścią składową analiz związanych z dywersyfikacją dostaw gazu na terenie Polski. W podsumowaniu przedstawiono perspektywy rozwoju mieszalni gazów, w tym ich komercyjne wykorzystanie przez operatorów sieci przesyłowej i/lub dystrybutorów gazu. Artykuł zwraca uwagę na fakt, że w dobie transformacji energetycznej świata i położenia nacisku na wykorzystanie ekologicznych paliw mieszalnie mogą stać się niezbędnym elementem systemu dostarczania gazu dla odbiorców końcowych.

**Słowa kluczowe:** mieszalnia gazów, gazy do badań, mieszanki gazowe.

**ABSTRACT:** The authors present the development of technology for obtaining gas mixtures in the Laboratory for Gas and Heating Equipment Testing of the Oil and Gas Institute – National Research Institute in Krakow. In the introduction to the article, attention was drawn to the need to use gas mixtures with a different percentage composition during tests of gas equipment, for the purposes of certification and the authorization to make the equipment available on the EU market. The simplest methods of obtaining gas mixtures are presented. The methods used in the previous years in the Laboratory, by which test mixtures were obtained without use of automatic gas flow control devices, are presented. Physical laws describing the equilibrium states of a gas mixture were used to create the mixtures. Then, the principle of operation of the gas mixing plant and the elements enabling its automation are presented. Structures of gas mixing plants developed at the Oil and Gas Institute – National Research Institute, enabling automatic production of gas mixtures are described. A patent pending is also described. The second part of the article presents a wide range of research and development work carried out by the Institute's employees over the years. Research works focusing, inter alia, on the exchangeability of gaseous fuels are described. They consisted in examining the operational parameters of gas appliances when fed with gases with admixtures of various gases not currently found in natural gas, e.g. ethane, hydrogen, inter alia. Other topics discussed in the article, taken up by INiG – PIB employees, was the use of hydrogen as an admixture of natural gas and its impact on all elements of the gas transmission and distribution network. All the described research work undertaken by INiG – PIB employees may become an important component of analyses related to the diversification of gas supplies in Poland. The summary presents the prospects for the development of gas mixing plants, including their commercial use by gas transmission network operators and/or gas distributors. The article draws attention to the fact

---

Autor do korespondencji: M. Basiura, e-mail: [maciej.basiura@inig.pl](mailto:maciej.basiura@inig.pl)

Artykuł nadesłano do Redakcji: 02.11.2021 r. Zatwierdzono do druku: 10.05.2022 r.

that in the era of the energy transformation of the world and the emphasis on the use of ecological fuels, mixing plants may become an indispensable element of the gas supply system to end users.

Key words: gas mixing plant, test gases, gas mixtures.

## Wstęp

Bezpieczne użytkowanie urządzeń spalających paliwa gazowe wymaga przeprowadzenia odpowiednich pomiarów i testów. Badania wykonywane są przez producentów urządzeń oraz przez jednostki certyfikujące. Każdy z podmiotów prowadzących badania musi dysponować odpowiednimi mieszaninami zasilającymi – o właściwym składzie i wymaganych parametrach (np. czystości). Związane jest to z tym, że badania urządzeń wykonywane są nie tylko przy zasilaniu urządzenia gazem odniesienia (gaz o składzie i parametrach energetycznych taki jak typowy gaz użytkowy), ale również gazami granicznymi (gazy do badań odpowiadające skrajnym odchyleniom w charakterystykach gazów użytkowych). Rodzaje gazów stosowanych w badaniach urządzeń określa norma PN-EN 437 *Gazy do badań – Ciśnienia próbne – Kategorie urządzeń*. Z zapisów normy wynika, że zarówno gaz odniesienia, jak i gazy graniczne są niejednokrotnie wieloskładnikowymi mieszaninami. Niekiedy mieszaniny te przygotowywane są przez firmy zewnętrzne i dostarczane na miejsce badań w butlach. Rozwiązanie to ma jednak wady, wśród których należy wymienić ograniczoną pojemność, długi czas oczekiwania na realizację zamówienia, koszty dzierżawy butli, dlatego w niektórych przypadkach takie rozwiązania mogą być nieekonomiczne i niepraktyczne. Potrzeba ciągłego i stałego zasilania testowanych urządzeń różnymi mieszaninami gazowymi (w zależności od prowadzonych badań) może być też zrealizowana w inny sposób – poprzez zastosowanie odpowiedniego urządzenia mieszającego.

Innym powodem stosowania wieloskładnikowych mieszalni jest wzrastająca potrzeba testowania urządzeń z wykorzystaniem gazów ze źródeł odnawialnych, których skład odbiega od zwykle używanego gazu zmiennego. Wśród producentów urządzeń wzrasta zainteresowanie badaniami pod kątem możliwości zastosowania biogazu, wodoru, a także ich mieszanin z gazem ziemnym w różnych proporcjach. Posiadanie mieszalników, które będą mogły tworzyć mieszaniny o zadanym składzie z dowolnej liczby składników, umożliwi producentom przystosowanie, a następnie sprawdzenie, czy ich wyroby są przygotowane do spalania gazu ziemnego z różnymi domieszkami. Dostosowanie urządzeń obecnych na rynku do spalania mieszanin gazu ziemnego z domieszkami gazów pochodzących z OZE jest konieczne, aby zapewnić poprawność i bezpieczeństwo ich działania w warunkach transformacji energetycznej, będącej istotnym elementem obecnej polityki energetycznej.

## Mieszalnie gazów w Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym

Mieszalnie gazów Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego (INiG – PIB) na przestrzeni lat stały się nieodłącznym elementem prac komercyjnych, jak i badawczo-rozwojowych. W ramach komercyjnej działalności INiG – PIB umożliwiają one prowadzenie badań urządzeń gazowych przeznaczonych na rynki krajów Unii Europejskiej. Laboratorium Badań Urządzeń Gazowych i Grzewczych (GU-1), działające w INiG – PIB, posiada w tym zakresie akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (PCA) od ponad dwudziestu lat. Pierwszy certyfikat, o numerze AB041, został wydany przez PCA w roku 1995. Zakresem akredytacji objęte są badania takich urządzeń jak m.in.: kotły centralnego ogrzewania, przepływowe ogrzewacze wody, kuchenki gazowe, nagrzewnice powietrza, kominki gazowe oraz urządzenia gastronomiczne zasilane gazem. Szeroki zakres akredytacji pozwolił na to, że przez lata nawiązano współpracę z wieloma firmami zajmującymi się urządzeniami gazowymi zarówno w Polsce, jak i za granicą.

Początkowa działalność Laboratorium GU-1 w zakresie badań urządzeń gazowych z użyciem różnych niestandardowych mieszanin gazowych opierała się na wykorzystaniu do ich tworzenia mierników przepływu, jakimi były wzorcowane gazomierze. Do uzyskania i określenia udziału poszczególnych gazów w mieszaninie używano układu zaworów oraz wspomnianych wyżej gazomierzy. Umożliwiała to bezpośrednie tworzenie wybranej mieszaniny gazowej na potrzeby spalania jej w badanym urządzeniu. Układ regulacji opierał się na wiedzy i doświadczeniu prowadzącego badania. Sposób ten wymagał od jednej z osób prowadzących badania ciągłego skupienia uwagi tylko na procesie tworzenia odpowiedniej mieszaniny. Konieczność zapewnienia stałego nadzoru nad poprawnością składu mieszaniny badawczej wynikała ze zmian strumienia objętości gazu, jaki był pobierany przez badane urządzenie. Kolejnym krokiem INiG – PIB w rozwijaniu technologii wytwarzania mieszanin gazowych na potrzeby prowadzenia badań było zastosowanie do tworzenia mieszanin metody ciśnienia parcjalnych. Rozwiązanie to wymagało jednak wykorzystania zbiorników o dużej pojemności, które stanowiły bufor, akumulator gazu o zadanych właściwościach energetycznych i umożliwiały prowadzenie badań na przygotowanej wcześniej mieszaninie. Zebrane doświadczenia, zarówno w zakresie mieszania gazów, jak i specyfiki badań urządzeń gazowych,

pozwołyły pracownikom Zakładu Użytkowania Paliw na projektowanie i budowę automatycznych mieszalni gazu.

### Zasada działania mieszalni gazów

Tworzenie mieszanin gazowych w ogólnym przypadku opiera się na jednym z dwóch praw fizycznych. Do stanów równowagi (przed i po zmieszaniu) odnoszą się prawa gazów doskonałych: Daltona i Amagata. Prawo Daltona mówi o tym, że każdy składnik mieszaniny gazów doskonałych zachowuje się tak, jakby sam zajmował całą objętość zbiornika, pozostając pod ciśnieniem cząstkowym, a ciśnienie całkowite jest sumą ciśnień cząstkowych składników mieszaniny (Pudlik, 2011). Natomiast zgodnie z prawem Amagata objętość mieszaniny gazów jest sumą objętości jej składników określonych dla pierwotnego ciśnienia i temperatury. Prawa te są ze sobą powiązane w ten sposób, że oba są prawami addytywności – ciśnieniami cząstkowych w przypadku prawa Daltona lub objętości cząstkowych w przypadku prawa Amagata. Chociaż są to prawa odnoszące się tylko do mieszania gazów doskonałych, to prawo Amagata jest często stosowanym przybliżeniem również w przypadku gazów rzeczywistych (Wakeham, 2019).

Istnieje wiele metod technicznych umożliwiających tworzenie mieszanin gazowych. Opisy procedur sporządzania mieszanin gazowych wraz z opisem teoretycznym metod ich sporządzania oraz szacowaniem niepewności składu otrzymanych mieszanin można znaleźć w serii norm PN-EN-ISO 6145 *Analiza gazu – Sporządzanie gazowych mieszanin wzorcowych z zastosowaniem dynamicznych metod objętościowych*, której kolejne części poświęcone są poszczególnym metodom.

Możliwość stosowania prawa Amagata – z przybliżeniem – została wykorzystana przy projektowaniu mieszalni używanych w Laboratorium GU-1. Mieszaniny gazowe tworzone przez mieszalnie mają stosunkowo niskie ciśnienia, a przepływ poszczególnych składników traktować można jako przepływ laminarny. Dodatkowo pomijalna lepkość gazu pozwala traktować mieszaniny jako gazy doskonałe, do których odnoszą się prawa Amagata i Daltona. Przybliżenia te dają możliwość tworzenia mieszanin o zadanych składach (objętościowych) w oparciu o strumienie objętościowe. Do konstrukcji mieszalni gazów w Laboratorium GU-1 stosuje się regulatory i mierniki masowego przepływu gazu. Urządzenia te zapewniają akceptowalną dokładność pomiarową oraz dokładność regulacji w szerokim zakresie przepływów gazu, które w dużej mierze decydują o jakości sporządzanej mieszaniny. Szeroki zakres możliwości regulacji przepływów jest parametrem istotnym dla mieszalni gazów, która pracuje w zmiennych warunkach, tworząc mieszaniny o zróżnicowanych proporcjach poszczególnych składników oraz zmiennym strumieniu objętości na

wyjściu z mieszalni. Wszystkie te cechy łącznie decydują o elastyczności stosowanego rozwiązania i możliwości łatwej regulacji składu mieszaniny w zależności od potrzeb.

Podstawy działania masowych regulatorów przepływu podali Hinkle i Mariano (1991). Autorzy w artykule zidentyfikowali i opisali kluczowe zjawiska fizyczne, które stoją za działaniem masowych regulatorów przepływu. Natomiast Tison (1995) przeprowadził ocenę termicznych masowych mierników przepływu. Valentine i Pewsey (2016) przedstawili z kolei nowe rozwiązania w konstrukcji regulatorów przepływu masowego. Również pracownicy Zakładu Użytkowania Paliw INiG – PIB opisali w swych pracach aplikacje z wykorzystaniem mierników i regulatorów masowego przepływu (Siuda, 2014; Wojtowicz, 2016). Siuda (2013, 2014) porównał zastosowanie przepływomierza termicznego z gazomierzem mokrym w badaniach laboratoryjnych. Na podstawie pomiarów, opracowanych budżetów niepewności dla metod pomiarowych oraz świadectw wzorcowania autor stwierdził, że przepływomierz termiczny zapewnia dokładniejszy pomiar. Masowe regulatory przepływu są często wykorzystywane w stanowiskach badawczych. Eksperymentatorzy w innej pracy zastosowali masowe regulatory przepływu w badaniach określających najlepiej dopasowaną krzywą wzorcowania czujnika gazu (Milton et al., 2006).

Drugim, nie mniej ważnym elementem mieszalni gazów jest mieszalnik, w którym przebiega proces podawania poszczególnych składników do gazu głównego. Istnieją dwa podstawowe rodzaje mieszalników gazu. Są to mieszalnik inżektorowy i mieszalnik oparty na dyszy Venturiego. Pracownicy Laboratorium GU-1 w trakcie prac nad mieszalniami gazów wykonywali układy mieszalników opartych zarówno na efekcie inżektorowym, jak i na dyszy Venturiego. Symulację działania mieszalnika inżektorowego opisuje w swoim artykule Siuda (2011). Istnieją też podobne prace innych autorów, w których przeanalizowane zostało działanie różnych rodzajów mieszalników, o zróżnicowanej budowie, na podstawie symulacji komputerowych (Jasińska i Bałdyga, 2010; Ramasamy et al., 2010; Danardono et al., 2011; Bora et al., 2013). W ostatnich latach w Laboratorium GU-1 został opracowany projekt mieszalnika umożliwiającego elastyczne i ekonomiczne wykorzystanie posiadanych elementów wykonawczych, tj. regulatorów masowego przepływu (rysunek 1). Modułowy, segmentowy mieszalnik do tworzenia mieszanin palnych został zgłoszony do objęcia ochroną patentową do Urzędu Patentowego RP – zgłoszenie patentowe nr P.433710 [WIPO ST 10/C PL433710]. Rozwiązanie zostało zaprezentowane na międzynarodowych wystawach wynalazków iCAN 2020 oraz IWIS 2020. Na obu wystawach zostało wyróżnione srebrnymi medalami.

W każdej wykonanej w Laboratorium GU-1 mieszalni nad poprawnością jej działania czuwa oprogramowanie napisane



### Zastosowanie mieszalni gazów w pracach badawczych i rozwojowych oraz usługowych prowadzonych w INiG – PIB

Działalność Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu badawczego to w dużej mierze działalność naukowa ukierunkowana na: optymalizację wykorzystania źródeł energii, ich ekologiczne zastosowanie oraz dywersyfikację dostaw paliw dostępnych na rynku konsumenckim. W ramach tych działań mieszalnie gazów stały się niezbędne i chętnie wykorzystywane podczas prowadzenia prac badawczo-rozwojowych i wdrożeniowych. Posiadana przez INiG – PIB mieszalnia gazów, umożliwiająca tworzenie mieszanek o zmiennym składzie, pozwala na prowadzenie szeroko zakrojonych badań nad różnymi elementami infrastruktury gazowej i urządzeń gazowych. Poszczególne zakłady INiG – PIB, zajmujące się różnymi aspektami przesyłu, dystrybucji, pomiarów rozliczeniowych oraz użytkowania gazu, prowadzą badania z wykorzystaniem mieszanek gazowych o składzie i właściwościach odbiegających od gazu ziemnego, co jest możliwe między innymi dzięki posiadanej mieszalni gazów.

Przykładem wykorzystania mieszalni gazów w działalności Instytutu są badania czterech urządzeń gazowych zasilanych gazami o podwyższonej zawartości etanu i azotu (Wojtowicz, 2010). Wyniki pomiarów uzyskane na rzeczywistych urządzeniach porównano z wynikami uzyskanymi dla obliczeń teoretycznych wymienności metodami Weavera i Delbourga z gazem ziemnym wysokometanowym. W kolejnych latach podejmowano próbę wyjaśnienia, dlaczego rezultaty analiz z zastosowaniem teoretycznych metod oceny wymienności nie pokrywają się z wynikami badań przeprowadzonych na obecnie wykorzystywanych urządzeniach gazowych użytku domowego (Wojtowicz, 2016). Podobną tematykę poruszały badania prowadzone w ramach poszukiwania możliwości dywersyfikacji dostaw gazu ziemnego dla Polski, w których pod uwagę wzięto zarówno gaz pochodzący z regazyfikacji LNG, jak i gaz ziemny ze złóż na Morzu Północnym. Ze względu na charakterystykę tych gazów konieczne było sprawdzenie, czy zainstalowane domowe urządzenia gazowe można zasilać gazami ziemnymi o zwiększonej zawartości węglowodorów wyższych (głównie etanu i propanu), nie powodując przy tym pogorszenia jakości procesu spalania. W badaniach tych zastosowano mieszaniny gazu ziemnego z dodatkami etanu i propanu, których zawartości w końcowej mieszaninie dochodziły do 20% dla etanu oraz 5% dla propanu. Wyniki badań w zakresie oceny poprawności działania urządzeń gazowych zasilanych gazami ziemnymi bogatymi w etan oraz propan opisał Wojtowicz (2013).

Dzięki zastosowaniu mieszalni gazu prowadzono również prace badawcze związane z analizą możliwości współspalania



**Rysunek 1.** Innowacyjny, modułowy, segmentowy mieszalnik gazów opracowany przez pracowników INiG – PIB

**Figure 1.** Innovative, modular, segmented gas mixer developed by INiG – PIB employees

przez osoby pracujące w Laboratorium. Autorskie algorytmy pilnują nie tylko zadanych udziałów procentowych składników gazowych, ale również wybranych parametrów energetycznych mieszanki wyjściowej.

W zależności od dokonanej konfiguracji algorytmu może być to górna liczba Wobbego, dolna liczba Wobbego, wartość opałowa lub ciepło spalania.

biogazu rolniczego z LNG lub LPG w urządzeniach użytku domowego, a także w urządzeniach przemysłowych (Siuda i Wojtowicz, 2016). W badaniach tych skupiono się na urządzeniach przystosowanych do spalania gazów ziemnych z grup E i Lw, w których w trakcie badań nie wprowadzano modyfikacji. Badania prowadzono na trzech grupach urządzeń: urządzeniach służących do przygotowania ciepłej wody użytkowej, urządzeniach do przygotowania ciepłej wody do celów grzewczych oraz nadmuchowych urządzeniach grzewczych. Podczas badań analizowano możliwość zastosowania rozwiązania polegającego na mieszaniu 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 gazów drugiej rodziny grupy E i Lw. Zdaniem autorów badań tak przygotowane paliwo gazowe mogłoby być zatłaczane do krajowej sieci dystrybucyjnej lub do jego dystrybucji mogłyby być tworzone lokalne sieci gazowe, zlokalizowane w pobliżu biogazowni rolniczych. Niezbędnym elementem prowadzonych badań była mieszalnia gazów, która pozwoliła na wytworzenie odpowiednich mieszanin gazowych, z których zastosowaniem prowadzone były badania na wytypowanej grupie urządzeń.

Zagadnienia związane z ochroną klimatu oraz uzyskaniem przez UE neutralności klimatycznej do roku 2050 obejmują m.in. poszukiwanie źródeł energii, które będą odnawialne i których wykorzystanie nie będzie się wiązało z emisją dwutlenku węgla. Dlatego też coraz częściej w politykach energetycznych wielu państw europejskich, w tym Polski, poruszane są kwestie wykorzystania wodoru zarówno w transporcie, jak i w gazownictwie. Drugi z wymienionych obszarów stanowi istotny obszar badawczy INiG – PIB, który obejmuje ocenę oddziaływania samego wodoru lub jego domieszek do gazu ziemnego lub gazu z regazyfikacji LNG na sieci gazowe i aparaturę kontrolno-pomiarową. Duże możliwości badawcze Instytutu w tym zakresie związane są m.in. z posiadaniem mieszalni gazów, która pozwala na prowadzenie badań z wykorzystaniem wodoru jako dodatku do gazów ziemnych. Opracowana mieszalnia gazów pozwala w łatwy i w pełni zautomatyzowany sposób zarówno dodawać wodór w wybranej proporcji do istniejących już mieszanin gazowych, np. sprowadzanych, jak i wytwarzać od podstaw w Instytucie wieloskładnikowe mieszaniny zawierające wodór. Wyniki analiz wpływu dodatku wodoru do gazu ziemnego na działanie urządzeń takich jak m.in. urządzenia gazowe użytku domowego i komercyjnego, gazomierze miechowe oraz reduktory średniego ciśnienia, a także wpływ dodatku wodoru na rozliczenia i pomiary paliw gazowych oraz na ich jakość zostały przedstawione przez zespół autorski Jaworski, Kukulska-Zajac i Kułaga (Jaworski et al., 2019).

Plany związane z wprowadzeniem wodoru jako dodatku do gazu ziemnego rozprowadzanego sieciami gazowymi, wynikające chociażby z podpisanego niedawno porozumienia wodorowego, pociągają za sobą konieczność przeprowadzenia analogicznych badań jak w przypadku wcześniej opisanych gazów z Morza Północnego. Przeprowadzenie w INiG – PIB badań w tym zakresie było możliwe dzięki zastosowaniu mieszalni. Wykonane badania pokazały, że nawet 23-procentowy dodatek wodoru nie ma wpływu na bezpieczeństwo użytkowania takich urządzeń jak: płyta gazowa z palnikami wyposażonymi w regulowaną przysłonę powietrza do spalania, gazowa nagrzewnica powietrza do ogrzewania pomieszczeń, ogrzewacz powietrza typu *balanced flue* oraz kominek gazowy (Wojtowicz, 2019).

Obecnie w Instytucie prowadzone są również prace nad wpływem wodoru na działanie gazomierzy termicznych i ultradźwiękowych oraz gazomierzy turbinowych. Wszystkie te badania wymagają wytworzenia mieszanin o odpowiedniej zawartości wodoru, w ilości umożliwiającej prawidłowe przeprowadzenie badań.

Na przestrzeni lat oprócz mieszalni, którą INiG – PIB opracował i wykonał na potrzeby realizowanych w Instytucie prac badawczych, pracownicy INiG – PIB opracowali i wykonali kilka egzemplarzy mieszalni gazów na zlecenie klientów zewnętrznych z różnych gałęzi przemysłu. Wśród klientów wykorzystujących mieszalnię przygotowane przez INiG – PIB znalazła się firma produkująca urządzenia elektryczne, dla której zaprojektowano i wykonano trzy dwuskładnikowe mieszalnię gazów palnych (gazu ziemnego wysokometanowego z wodorem) na potrzeby prowadzonego procesu technologicznego. Jeden z egzemplarzy po kilku latach użytkowania został na życzenie klienta zmodernizowany w INiG – PIB. Podczas modernizacji elementy mieszalni zostały umieszczone w specjalnej obudowie przeciwwybuchowej. Pozwoliło to na instalowanie mieszalni bezpośrednio na halach technologicznych. W 2017 roku pracownicy INiG – PIB opracowali, wykonali i wdrożyli trójskładnikową mieszalnię gazu w laboratorium badawczo-rozwojowym producenta urządzeń gazowych. Każdorazowo mieszalnię były dostosowywane do specjalnych wymagań klientów.

## Podsumowanie

Wszystkie wyżej opisane przykłady prac pokazują, jak duże znaczenie oraz szerokie zastosowanie, nie tylko w badaniach certyfikacyjnych urządzeń spalających paliwa gazowe, ale również w działalności naukowej Instytutu, mają mieszalnię gazów. Dzięki nim można wstępnie sprawdzić poprawność działania armatury gazowej, aparatury metrologicznej



i urzędzeń końcowych przed udostępnieniem gazów konsumentom. Laboratoria INiG – PIB w swojej ofercie mają tego typu badania.

W dobie transformacji energetycznej krajów rozwiniętych, również krajów UE, i coraz szybszej rezygnacji z paliw konwencjonalnych na znaczeniu zyskują alternatywne źródła energii. W ten trend wpisują się alternatywne paliwa gazowe (np. biogaz) oraz paliwa będące mieszaniną gazów kopalnych oraz gazów pochodzących z OZE, np. mieszaniny gazu ziemnego z dodatkiem wodoru. Badania nad wymiennością gazową różnych nowych paliw stają się koniecznością. Posiadanie mieszalni gazów pozwala w łatwy sposób symulować różne składy mieszanin gazowych na bazie gazu ziemnego wysokometanowego (lub innego głównego składnika) i sprawdzać ich wpływ na wszystkie elementy układu, jakim jest sieć gazowa – od źródła aż po odbiorcę końcowego.

Mieszalnie gazów wychodzą również naprzeciw oczekiwaniom rynku, umożliwiając fizyczne badania na działającym organizmie infrastruktury gazowej. W najbliższych latach prognozuje się powstanie kolejnych konstrukcji mieszalni gazowych, umożliwiających komercyjnie wykonywanie mieszanin np. wodoru z gazem ziemnym. Wynika to z potrzeb badań laboratoryjnych, ale również z potrzeb operatorów sieci gazowej i/lub dystrybutorów gazu ziemnego.

## Literatura

- Bora B.J., Debnath B.K., Gupta N., Saha U.K., Sahoo N., 2013. Investigation on the flow behaviour of a Venturi type gas mixer designed for dual fuel diesel engines. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(3): 202–209.
- Danarondo D., Kim K., Lee S., Lee J., 2011. Optimization the design of Venturi gas mixer for syngas engine using three-dimensional CFD modeling. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 25(9): 2285–2296. DOI: 10.1007/s12206-011-0612-8.
- Hinkle L.D., Mariano C.F., 1991. Toward understanding the fundamental mechanisms and properties of the thermal mass flow controller. *Journal of Vacuum Science & Technology A*, 9: 2043. DOI: 10.1116/1.577452.
- Jasińska M., Bałdyga J., 2010. Modelowanie mieszania z reakcją w mieszalniku statycznym typu Kenics. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 49(3): 41–42.
- 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.
- Milton M.J.T., Harris P.M., Smith I.M., Brown A.S., Goody B.A., 2006. Implementation of a generalized least-squares method for determining calibration curves from data with general uncertainty structures. *Metrologia*, 43: 291–298. DOI: 10.1088/0026-1394/43/4/S17.
- Pudlik W., 2011. Termodynamika. Podręcznik przeznaczony dla studiujących na kierunkach: Mechanika i Energetyka. *Politechnika Gdańska, Gdańsk*.
- Ramasamy D., Mahendran S., Kadirgama K., Noor M.M., 2010. Design of compressed natural gas mixer using computational fluid dynamics. *National Conference in Mechanical Engineering Research and Postgraduate Students (1st NCMER 2010)*, FKM Conference Hall, UMP, Kuantan, Pahang, Malaysia: 614–620.
- Siuda T., 2011. Możliwości wykorzystania programu FLUENT w pracach realizowanych w Instytucie Nafty i Gazu. *Nafta-Gaz*, 67(1): 53–63.
- Siuda T. (kier. zespołu), 2013. Modernizacja mieszalni gazów pod kątem pomiaru zużycia gazów płynnych. *Archiwum Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego, Kraków*.
- Siuda T., 2014. Pomiar zużycia gazu płynnego termicznym przepływomierzem masowym i bębnowym gazomierzem mokrym. *Nafta-Gaz*, 70(7): 444–456.
- Siuda T., Wojtowicz R., 2016. Badania możliwości współspalania biogazu rolniczego i LNG lub LPG w urządzeniach użytku domowego oraz w urządzeniach do zastosowań przemysłowych. *Nafta-Gaz*, 72(9): 747–754. DOI: 10.18668/NG.2016.09.10.
- Tison S.A., 1995. A critical evaluation of thermal mass flow meters. *42<sup>nd</sup> National Symposium of the American Vacuum Society, Minneapolis*.
- Valentine W., Pewsey S., 2016. A New Class of MFCs with Embedded Flow Diagnostics. *Brooks Instrument, Hatfield*.
- Wakeham W.A., 2019. Amagat's Law. A-to-Z Guide to Thermodynamics, Heat & Mass Transfer, and Fluids Engineering. *Thermopedia*. DOI: 10.1615/AtoZ.a.amagat\_s\_law.
- Wojtowicz R., 2010. Wpływ składu gazu ziemnego na jakość jego spalania – krytyczna analiza metod oceny wymienności paliw gazowych. *Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu*, 173: 53–68.
- Wojtowicz R., 2013. Ocena gazu granicznego G21 pod kątem jego przydatności do określenia jakości spalania gazów ziemnych wysokometanowych pochodzących z regazyfikacji LNG w urządzeniach użytku domowego. *Nafta-Gaz*, 69(8): 599–612.
- Wojtowicz R., 2016. Analiza przyczyn rozbieżności określania wymienności paliw gazowych za pomocą metod teoretycznych oraz na drodze eksperymentalnej. *Nafta-Gaz*, 72(6): 422–430. DOI: 10.18668/NG.2016.06.05.
- Wojtowicz R., 2019. Analiza wpływu dodatku wodoru do gazu ziemnego na pracę urządzeń gazowych. *Nafta-Gaz*, 75(8): 465–473. DOI: 10.18668/NG.2019.08.03.

## Akty prawne i dokumenty normatywne

- PN-EN 437 Gazy do badań – Ciśnienia próbne – Kategorie urządzeń.
- PN-EN-ISO 6145-1 Analiza gazu – Sporządzanie gazowych mieszanin wzorcowych z zastosowaniem dynamicznych metod objętościowych – Część 1: Metody wzorcowania.
- PN-EN-ISO 6145-4 Analiza gazu – Sporządzanie gazowych mieszanin wzorcowych z zastosowaniem dynamicznych metod objętościowych – Część 4: Metoda ciągłego wstrzykiwania z użyciem strzykawki.
- PN-EN-ISO 6145-5 Analiza gazu – Sporządzanie gazowych mieszanin wzorcowych z zastosowaniem dynamicznych metod objętościowych – Część 5: Kapilarne urządzenia do wzorcowania.
- PN-EN-ISO 6145-6 Analiza gazu – Sporządzanie gazowych mieszanin wzorcowych z zastosowaniem dynamicznych metod objętościowych – Część 6: Kryzy o przepływie krytycznym.
- PN-EN-ISO 6145-7 Analiza gazu – Sporządzanie gazowych mieszanin wzorcowych z zastosowaniem dynamicznych metod objętościowych – Część 7: Termiczne regulatory strumienia masy.
- PN-EN-ISO 6145-8 Analiza gazu – Sporządzanie gazowych mieszanin wzorcowych z zastosowaniem dynamicznych metod objętościowych – Część 8: Metoda dyfuzji.
- PN-EN-ISO 6145-9 Analiza gazu – Sporządzanie gazowych mieszanin wzorcowych z zastosowaniem dynamicznych metod objętościowych – Część 9: Metoda nasyceniowa.

PN-EN-ISO 6145-10 Analiza gazu – Sporządzanie gazowych mieszanin wzorcowych z zastosowaniem dynamicznych metod objętościowych – Część 10: Metoda przenikania.

PN-EN-ISO 6145-11 Analiza gazu – Sporządzanie gazowych mieszanin wzorcowych z zastosowaniem dynamicznych metod objętościowych – Część 11: Wytwarzanie elektrochemiczne.



Mgr inż. Maciej BASIURA  
Asystent w Zakładzie Użytkowania Paliw  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25 A  
31-503 Kraków  
E-mail: [maciej.basiura@inig.pl](mailto:maciej.basiura@inig.pl)



Mgr inż. Mateusz RATAJ  
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Użytkowania Paliw  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25 A  
31-503 Kraków  
E-mail: [mateusz.rataj@inig.pl](mailto:mateusz.rataj@inig.pl)

## OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU UŻYTKOWANIA PALIW

- badania typu urządzeń spalających paliwa gazowe według norm odniesienia w celu potwierdzenia zgodności z Rozporządzeniem UE 2016/426 (GAR);
- badania sprawności kottów wodnych zasilanych paliwami gazowymi i olejowymi na zgodność z Dyrektywą 92/42/EWG;
- badania instalacji elektrycznych urządzeń gazowych i drobnego sprzętu domowego na zgodność z Dyrektywą 2014/35/UE „Niskie napięcia”;
- badania urządzeń grzewczych typu kominki oraz kuchnie i kotle na paliwo stałe, w oparciu o normy zharmonizowane z Rozporządzeniem UE CPR 305/2011;
- badania zapalniczek gazowych i ich zgodności z wymaganiami normy PN-EN ISO 9994 oraz ich zabezpieczenia przed uruchomieniem przez dzieci, zgodnie z normą PN-EN 13869;
- badania kominów metalowych i ceramicznych na zgodność z normami zharmonizowanymi z Rozporządzeniem UE CPR 305/2011;
- badania i wydawanie opinii technicznych o możliwości bezpiecznego użytkowania przemysłowych urządzeń zasilanych gazem;
- projektowanie i wykonanie mieszalni gazów oraz badanie zamienności paliw;
- ekspertyzy sądowe w zakresie użytkowania gazu;
- ekspertyzy termograficzne instalacji technicznych, maszyn i urządzeń mechanicznych, elektrycznych gazowych i grzewczych.



Kierownik: mgr inż. Robert Wojtowicz    Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków  
Telefon: 12 617 74 65    Faks: 12 653 16 65    E-mail: [robert.wojtowicz@inig.pl](mailto:robert.wojtowicz@inig.pl)



INSTYTUT NAFTY I GAZU  
– Państwowy Instytut Badawczy