

Wpływ warunków środowiskowych i instalacyjnych na proces wymiany ciepła w wybranych przemysłowych gazomierzach miechowych

Impact of environmental and installation conditions on the heat exchange process in selected industrial diaphragm gas meters

Adrian Dudek

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Od 2016 roku Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy (INiG – PIB) prowadzi nowe badania mające na celu określenie zależności pomiędzy temperaturą otoczenia a temperaturą gazu w przemysłowych gazomierzach miechowych w trakcie pomiaru oraz opracowanie nowych zaleceń w stosunku do układów rozliczeniowych wykorzystujących przemysłowe gazomierze miechowe o przepustowości do 25 m³/h. W pierwszym etapie badań zrealizowano pracę, której wyniki potwierdziły, że proces wymiany ciepła w przemysłowym gazomierzu miechowym zależy od temperatury otoczenia, temperatury gazu na wlocie do gazomierza, od strumienia objętości przepływającego gazu oraz od powierzchni obudowy i objętości cyklicznej gazomierza. W kolejnym etapie zrealizowano pracę, której celem było określenie zależności pomiędzy temperaturą otoczenia a temperaturą gazu w przyłączy przemysłowego gazomierza miechowego w trakcie pomiaru. Otrzymane wyniki podważyły tezę, że temperatura na wlocie gazomierza jest równa temperaturze medium na głębokości posadowienia sieci gazowej. W ostatnim etapie badań zrealizowano natomiast pracę, której celem było wyznaczenie przebiegu zmian temperatury gazu w przemysłowych gazomierzach miechowych w funkcji temperatury otoczenia i cyklicznych zmian strumienia objętości gazu, które miały odzwierciedlać pracę gazomierzy zamontowanych u odbiorców. Analiza otrzymanych wyników badań po raz kolejny wskazała na silną zależność temperatury gazu wewnątrz przemysłowych gazomierzy miechowych od temperatury otoczenia, ale też od strumienia objętości przepływającego gazu. Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych posłużą do przeprowadzenia opisu procesu wymiany ciepła w przemysłowym gazomierzu miechowym, który pozwoliłby na wyznaczanie temperatury rozliczeniowej gazu jako funkcji temperatury otoczenia, temperatury gazu dopływającego i strumienia objętości gazu. Obliczone wartości temperatury gazu mogłyby posłużyć do wyznaczenia współczynników korekcyjnych temperatury mających zastosowanie podczas bilansowania odbiorców gazu rozliczanych na podstawie pomiaru z wykorzystaniem przemysłowych gazomierzy miechowych.

Słowa kluczowe: przemysłowe gazomierze miechowe, przyłącze gazowe, nierozliczone ilości gazu, proces wymiany ciepła, wpływ warunków atmosferycznych na temperaturę gazu, temperatura gazu podczas pomiaru, temperatura rozliczeniowa, błędy rozliczeniowe, *Power to Gas*, PtG, gazomierze termiczne, gazomierze smart.

ABSTRACT: Since 2016, Oil and Gas Institute – National Research Institute (INiG – PIB) has been conducting new research to determine the relationship between ambient temperature and gas temperature in industrial diaphragm gas meters during the measurement, and to develop new recommendations for billing systems using industrial diaphragm gas meters with a throughput of until 25 m³/h. In the first stage, work was carried out, in which the obtained test results confirmed that the heat exchange process in an industrial diaphragm gas meter depends on the ambient temperature, the gas temperature at the inlet to the gas meter, the flow rate of the gas flowing, as well as the casing surface and the gas volume of the gas meter. In the next stage, work was carried out to determine the relationship between ambient temperature and gas temperature at the industrial diaphragm gas meter connection during the measurement. The obtained results undermined the thesis, which indicated that the gas inlet temperature is equal to the gas temperature at the depth of the gas network. In the last stage, work was carried out to determine the course of changes in gas temperature in industrial diaphragm gas meters as a function of ambient temperature and cyclical changes of the gas flow rate, which were to reflect the work of gas meters installed at customers' premises. The analysis of the obtained test results once again showed a strong dependence of the gas temperature inside industrial diaphragm gas meters on the ambient temperature, but also on the flow rate of gas. The obtained results of laboratory tests will be used to carry out a thermodynamic description of the heat exchange process in an industrial diaphragm gas meter, which would allow the determination of the gas billing temperature as a function of the ambient temperature, the temperature of the inflowing gas

Autor do korespondencji: A. Dudek, e-mail: adrian.dudek@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 19.08.2019 r. Zatwierdzono do druku: 05.11.2020 r.

and the gas flow rate. The calculated gas temperature values could be used to determine the temperature correction factors applicable when settling gas consumers billed on the basis of measurement with the use of industrial diaphragm gas meters.

Key words: industrial diaphragm gas meters, gas connection, unaccounted amount of gas, heat exchange process, impact of weather conditions on temperature of gas, gas temperature during measurement, billing temperature, measurement errors, Power to Gas, PtG, thermal gas meter, smart gas meter.

Wstęp

Pomiar objętości gazu przez gazomierz miechowy wykonywany jest w konkretnych warunkach temperatury i ciśnienia gazu. Pożądane jest, by do rozliczeń objętość gazu zmierzona w warunkach roboczych była przeliczana na warunki odniesienia. Przeprowadzone badania, m.in. w Holandii, USA, Niemczech czy też w Polsce (Mobers, 1988; Bertke, 1993; Nath, 1995; Jaworski, 1999, 2004; Wagner-Staszewska i Jaworski, 2001; Wagner-Staszewska et al., 2007a, 2007b, 2008; Kelner i Niebergall, 2011; Hlinčík i Koza, 2012, 2016; Dudek i Jaworski, 2017; Dudek, 2018), jednoznacznie potwierdzają, że gazomierz miechowy jest dobrym wymiennikiem ciepła, a tym samym warunki atmosferyczne wpływają na temperaturę gazu w gazomierzu (Kułaga i Jaworski, 2016). W związku z tym brak stosowania w rozliczeniach z odbiorcami właściwych współczynników korekcyjnych temperatury oraz ciśnienia gazu powoduje, że rozliczenia są obciążone błędami, które generują nierozliczone ilości gazu (Matusik i Jaworski, 2017; Jaworski i Gacek, 2018).

Przegląd literatury

Gazomierze miechowe są najczęściej spotykanym rodzajem gazomierzy stosowanych do rozliczeń zużywanego gazu ziemnego w gospodarstwach domowych, jak i zakładach produkcyjnych (Dudek i Jaworski, 2017; Gacek i Jaworski, 2020; Lipka, 2020). Ze względu na zakres pomiarowy należy wyróżnić gazomierze miechowe domowe oraz przemysłowe. W ostatnich latach coraz częściej dochodzi do prób zastąpienia ich innymi rodzajami gazomierzy, m.in. termicznymi, które były przedmiotem publikacji Jaworskiego et al. (2018a), w której omówiono możliwość zastosowania ich w systemie rozliczeniowym. Niemniej jednak bardzo istotnym zagadnieniem w przypadku tego rodzaju gazomierzy jest wrażliwość na zmiany składu gazu w systemie gazowym. Przy obecnym trendzie technologii *Power to Gas* (Jaworski et al., 2019, 2020) stanowi to poważne wyzwanie. Gazomierze miechowe posiadają wiele zalet, m.in. trwałość, małe opory przepływu, odporność na wysoką temperaturę otoczenia (650°C), długoterminową stabilność metrologiczną – co dokładnie opisano w publikacjach Kułagi (2015) oraz Kułagi i Jaworskiego (2016) – a także odporność na działanie

poła magnetycznego (Jaworski i Gacek, 2016), a to wszystko przy jednoczesnym zachowaniu niskich kosztów produkcji. Przedstawione walory gazomierzy miechowych nabierają większego znaczenia w kontekście obowiązków operatora systemu gazowego (Matusik i Jaworski, 2017) dotyczących konieczności okresowej ich wymiany oraz związanych z tym kosztów.

Należy również dodać, że Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy, opierając się na ustaleniach z producentami gazomierzy miechowych oraz PSG Sp. z o.o., operatorem gazowego systemu dystrybucyjnego, opracował dodatkowe wymagania stosowane w procesie dobrowolnej certyfikacji „Q INiG” (Jaworski et al., 2018b) mające na celu wzrost bezpieczeństwa technicznego i jakości gazomierzy miechowych.

Pomiar objętości wolumenu gazu dokonywany jest w określonych warunkach temperatury i ciśnienia gazu. Do lat siedemdziesiątych XX wieku w krajach Europy Zachodniej przyjmowano, że objętość odczytana z liczydła gazomierza jest równoważna objętości gazu w warunkach normalnych. Uzyskiwane przez holenderską spółkę dystrybucyjną nadwyżki ze sprzedaży gazu wymusiły określenie ich przyczyn. W wyniku prowadzonych badań stwierdzono, że za ten stan rzeczy odpowiada stosowanie zbyt niskiej temperatury rozliczeniowej, wynoszącej 6,7°C. W rezultacie dalszych badań wprowadzono temperaturę rozliczeniową gazu równą 16°C (Mobers, 1988).

Przeprowadzone przez holenderskich inżynierów badania przyczyniły się do zmian rozliczania odbiorców gazu również w Niemczech, gdzie w ramach rozmów pomiędzy Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), władzami legalizacyjnymi oraz Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) opracowano instrukcję rozliczania odbiorców, DVGW Technische Regeln Arbeitsblatt G 685: Gasabrechnung, w której ustalono, że do momentu wprowadzenia gazomierzy z kompensacją temperatury wartość temperatury rozliczeniowej wynosić będzie 15°C dla odbiorców posiadających gazomierze wewnątrz pomieszczeń mieszkalnych o przepustowości do 25 m³/h (Jaworski, 2004).

W Polsce jak dotąd w rozliczeniach z indywidualnymi odbiorcami przyjmuje się, że objętość odczytana z liczydła gazomierza równoważna jest tej samej objętości gazu w warunkach normalnych ($T = 273,15 \text{ K}$ (0°C), $P = 101\,325 \text{ Pa}$). Jak wskazują wyniki badań (Mobers, 1988; Nath, 1995; Jaworski, 1999, 2004; Wagner-Staszewska i Jaworski, 2001; Wagner-Staszewska et al., 2007a; Kelner i Niebergall, 2011; Hlinčík

i Koza, 2012, 2016; Dudek i Jaworski, 2017; Dudek, 2018), uproszczenie to jest błędne.

Pierwsze badania laboratoryjne, których celem było znalezienie odpowiedzi na pytanie, czy gazomierze miechowe są dobrymi wymiennikami ciepła i czy można przyjmować, że temperatura gazu dla takich gazomierzy jest bliska temperaturze otoczenia, przeprowadził Burger Nath (1995). Wyniki badań z 1995 roku wykazały, że przemysłowe gazomierze miechowe nie są tak dobrymi wymiennikami ciepła, jak do tej pory zakładano.

W Polsce badania wpływu temperatury otoczenia na wskazania domowych gazomierzy miechowych zostały podjęte w 1993 r. – przez INiG – PIB. Celem tych prac było określenie wpływu temperatury otoczenia i ciśnienia atmosferycznego na gazomierze miechowe stosowane u odbiorców indywidualnych (Jaworski, 2004). Uzyskane wyniki badań terenowych prowadzonych przez INiG – PIB pozwoliły na wyznaczenie rozkładu temperatury gazu w gazomierzu w zależności od temperatury otoczenia i poboru paliwa gazowego w okresie od 1995 do 1997 roku. W trakcie badań co godzinę prowadzono odczyty stanu liczydeł gazomierzy miechowych.

Znając czas pomiaru, zmierzoną objętość gazu, temperaturę na wlocie i wylocie z gazomierza, ciśnienie na wlocie do gazomierza oraz ciśnienie atmosferyczne, dokonano wstępnych szacunków błędów rozliczeniowych objętości gazu (Jaworski, 2004).

W 2000 roku w INiG – PIB przeprowadzono badania laboratoryjne, których celem było wyznaczenie przebiegu zmian temperatury gazu w domowym gazomierzu miechowym w funkcji temperatury otoczenia i strumienia objętości gazu. Do badań laboratoryjnych wytypowano gazomierz o wielkości najczęściej stosowanej u odbiorców gazu (G4). Przeprowadzone badania laboratoryjne z gazomierzami miechowymi wykazały, że podczas przepływu gazu przez gazomierz następuje intensywny proces wymiany ciepła pomiędzy przepływającym gazem a otoczeniem gazomierza. Jak wykazały badania, proces ten jest dwuetapowy, tzn. w pierwszym etapie występuje nieustalona wymiana ciepła, po czym następuje proces ustalonej wymiany ciepła. Nieustalona wymiana ciepła odbywa się zgodnie z krzywą o charakterze wykładniczym o dość dużej stałej czasowej. Uzyskane wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że skuteczność wymiany ciepła w gazomierzu domowym zależy od wielu czynników, a przede wszystkim od parametrów termodynamicznych gazu, temperatury otoczenia oraz od strumienia objętości przepływającego gazu. Potwierdzono, że wraz ze wzrostem strumienia objętości, przy stałej temperaturze otoczenia, silnie wzrasta różnica pomiędzy temperaturą w gazomierzu a temperaturą otoczenia. Opracowano model nieustalonej wymiany ciepła w gazomierzu, którego dokładność względem rzeczywistych wyników pomiarów była nie gorsza niż 0,7% (Jaworski, 2004).

W 2002 roku w INiG – PIB przeprowadzono badania, których celem było z kolei opracowanie modelu wymiany ciepła w gazomierzu miechowym G4 z uwzględnieniem pośrednich procesów wymiany ciepła na drodze przepływu gazu od przyłącza gazowego do gazomierza. Opracowany model procesu wymiany ciepła w typowym układzie gazomierza G4 wraz z przyłączem pozwolił na wyznaczenie temperatury gazu w gazomierzu (Jaworski, 2004).

Pionierskimi pracami dla polskiego gazownictwa były prace Jaworskiego (2004) oraz Wagner-Staszewskiej et al. (2007a), zrealizowane przez specjalistów z INiG – PIB jako zwińczenie badań prowadzonych przez ponad dekadę, w których opracowano zależność służącą do wyznaczania rozliczeniowej objętości gazu dla odbiorców rozliczanych na podstawie pomiarów z wykorzystaniem domowych gazomierzy miechowych. Wzór przedstawiono poniżej:

$$V_{nr} = V_1 \cdot F_p \cdot F_t \text{ [m}^3\text{]} \quad (1)$$

gdzie:

V_{nr} – rozliczeniowa objętość gazu w warunkach normalnych [m³],

V_1 – objętość zużytkowanego gazu w warunkach pomiaru, odczytana z liczydła gazomierza [m³],

F_p – współczynnik korekcyjny ciśnienia gazu,

F_t – współczynnik korekcyjny temperatury gazu.

Dynamizacja w dziedzinie elektrotechniki w ostatnich dekadach spowodowała również znaczny rozwój konstrukcji gazomierzy, czego następstwem było wprowadzenie na rynek gazomierzy inteligentnych, tzw. smart, w tym miechowych oraz termicznych. W kontekście zrealizowanych dotychczas prac oraz opracowanej wspomnianej powyżej zależności (1) gazomierze typu smart dają nowe możliwości oraz jakość poprzez m.in. przeliczanie objętości zmierzonego gazu ziemnego do warunków bazowych (Jaworski et al., 2018a).

Należy również wspomnieć, że dotychczasowe badania przeprowadzono z wykorzystaniem gazu ziemnego oraz powietrza jako medium badawczego. W aspekcie technologii *Power to Gas* należy pamiętać, że dodawanie wodoru do gazu ziemnego zmieni jego właściwości, a to może wpłynąć na prędkość przepływu oraz proces wymiany ciepła w gazomierzu. Problem wpływu wodoru na elementy systemu gazowniczego był przedmiotem badań omówionych w publikacjach Jaworskiego et al. (2019, 2020).

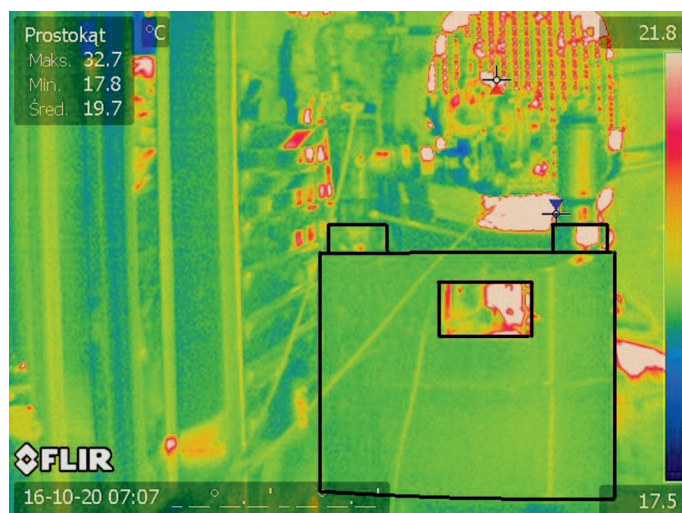
Badania laboratoryjne przemysłowych gazomierzy miechowych

Od 2016 roku INiG – PIB prowadzi nowe badania mające na celu określenie zależności pomiędzy temperaturą otoczenia a temperaturą gazu w przemysłowych gazomierzach

miechowych w trakcie pomiaru oraz opracowanie nowych zaleceń w stosunku do układów rozliczeniowych wykorzystujących przemysłowe gazomierze miechowe o przepustowości do 25 m³/h.

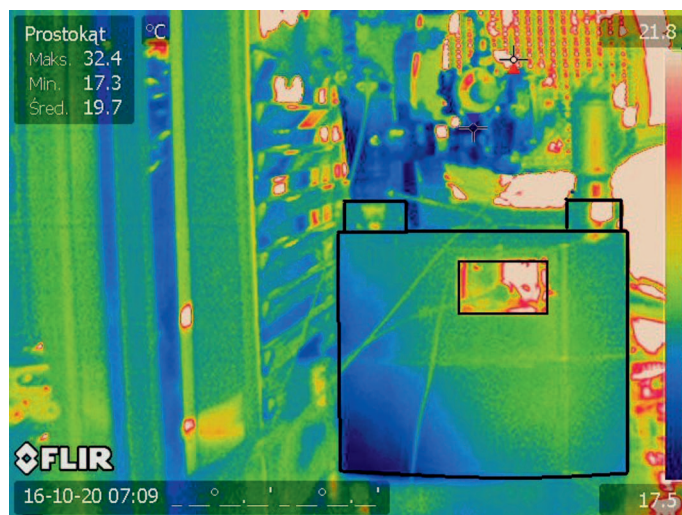
W pierwszym etapie badań zrealizowano pracę (Dudek i Jaworski, 2017), w której uzyskane wyniki potwierdziły, że temperatura gazu w przemysłowym gazomierzu miechowym zależy od temperatury otoczenia, temperatury gazu na wlocie do gazomierza, od strumienia objętości przepływającego gazu oraz od powierzchni obudowy i objętości cyklicznej gazomierza. W ramach tej pracy ustalono, że kolejnym czynnikiem wpływającym na temperaturę w gazomierzu jest rodzaj zastosowanego przyłącza gazowego, a przede wszystkim długość odcinka wychodzącego spod powierzchni terenu, średnica i grubość ścianki materiału. Na podstawie przeprowadzonych badań wytypowano punkty pomiaru temperatury gazu, w których zmierzone wartości mogłyby być traktowane jako reprezentatywne podczas wyznaczania rozliczeniowej temperatury gazu. Punktem dającym najdokładniejszy pomiar temperatury gazu w przemysłowym gazomierzu miechowym jest kanał wyjściowy gazu z komór pomiarowych. Ponadto potwierdzono, że w przypadku przemysłowych gazomierzy miechowych wymiana ciepła pomiędzy otoczeniem a ich wnętrzem jest procesem na tyle złożonym, że opracowanie współczynników korekcyjnych temperatury gazu do rozliczeń objętości gazu na tym etapie będzie nieprecyzyjne. Potwierdziły to badania przy wykorzystaniu kamery termowizyjnej (rys. 1 i 2).

Badanie kamerą termowizyjną przeprowadzono na gazomierzu miechowym G10 w temperaturze otoczenia $T_o = 20^\circ\text{C}$ przy jednoczesnym przepuszczaniu przez gazomierz powietrza o strumieniu 16 m³/h i temperaturze gazu $T_g = 15^\circ\text{C}$. Ponadto w trakcie wykonywania zdjęć termowizyjnych prowadzono pomiar temperatury powietrza w gazomierzu badanym przy użyciu układu rejestrującego. Pierwsze zdjęcie obrazuje stan ustalony układu, w którym przyłącze, reduktor oraz gazomierz badany emitują tę samą wartość promieniowania cieplnego. Schłodzone w komorze temperaturowej powietrze, przepływając przez przyłącze, ochładza je, po czym jego ciśnienie zostaje zredukowane przez reduktor do wartości 2 kPa. Proces wymiany ciepła zgodnie z analizą danych przebiegał stopniowo w kierunku środkowym i prawej strony obudowy gazomierza. Pierwszy etap procesu wymiany ciepła zakończył się po czterech minutach od uruchomienia przepływu chwilowym stanem ustalonym, charakteryzującym się brakiem zmian wskazań temperatur o więcej niż 0,1°C w ciągu 1,5 minuty. Od szóstej minuty (od uruchomienia przepływu) można było zaobserwować rozpoczęcie kolejnego etapu stabilizacji temperatury, w którym wzrastała różnica temperatury między otoczeniem a wnętrzem gazomierza. Proces ten postępował aż do uzyskania całkowitego stanu ustalonego.



Rys. 1. Pomiar termowizyjny przemysłowego gazomierza miechowego G10 w stanie ustalonym (bez przepływu) (Dudek i Jaworski, 2017)

Fig. 1. Thermovision measurement of the industrial diaphragm gas meter G10 in a steady state (no flow) (Dudek i Jaworski, 2017)



Rys. 2. Pomiar termowizyjny przemysłowego gazomierza miechowego G10 w stanie nieustalonym (dwie minuty po uruchomieniu przepływu) (Dudek i Jaworski, 2017)

Fig. 2. Thermovision measurement of the industrial diaphragm gas meter G10 in an unsteady state (two minutes after flow starts) (Dudek i Jaworski, 2017)

Wobec tego uzasadnione jest przeprowadzenie kolejnych badań wyznaczania rozkładu temperatury gazu w przemysłowych gazomierzach miechowych obejmujących różne wielkości i typy tych gazomierzy w celu lepszego poznania procesu. Należy dążyć do opracowania algorytmu opisującego zależność pomiędzy temperaturą na wyjściu z komór pomiarowych (miechów) i temperaturą w króćcu wyjściowym.

W drugim etapie badań zrealizowano pracę (Dudek, 2018), której celem było określenie zależności pomiędzy temperaturą otoczenia a temperaturą gazu w przyłączu przemysłowego gazomierza miechowego w trakcie poboru gazu ziemnego

przez użytkownika. Temperaturę gazu wewnątrz gazomierza w warunkach statycznych (brak poboru paliwa gazowego) należy uznać za równą temperaturze otoczenia. Natomiast główny problem stanowi wyznaczenie właściwej temperatury wewnątrz gazomierza w trakcie przepływu przez niego gazu.

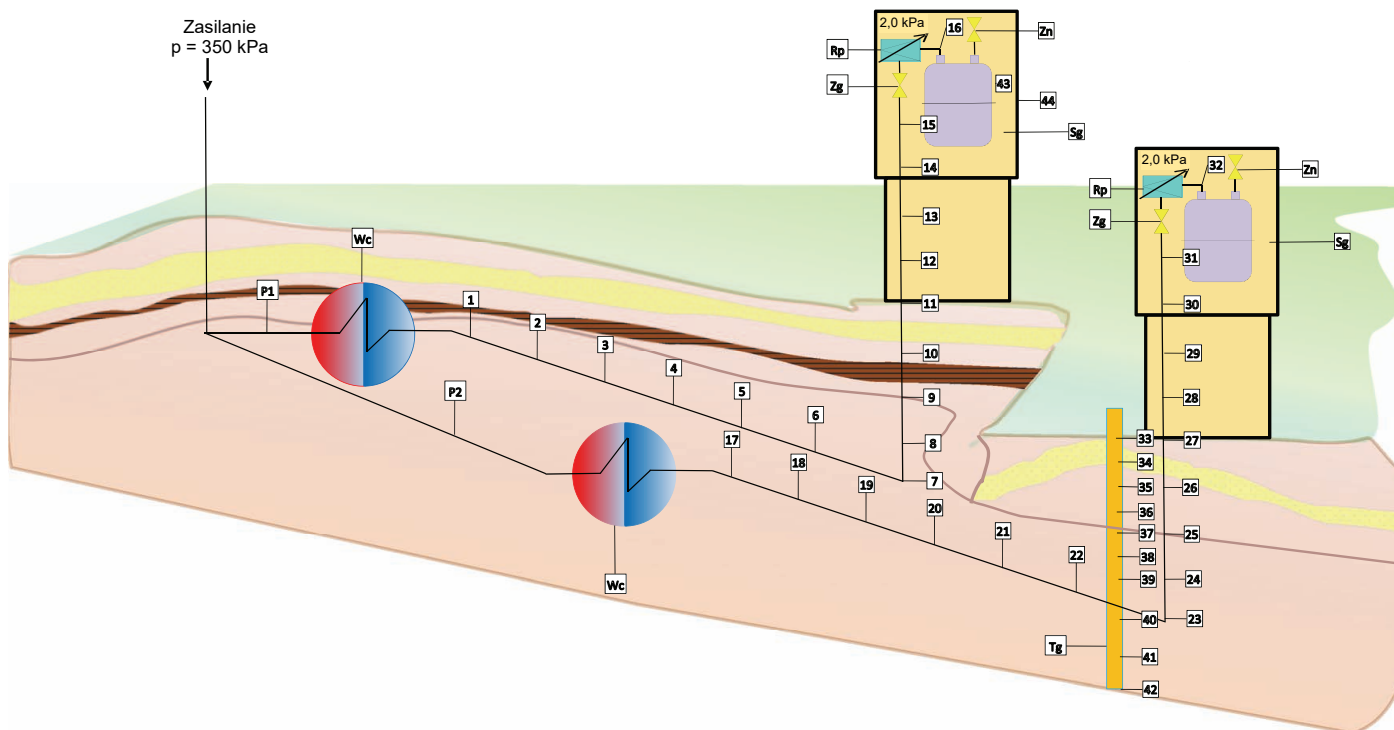
W ramach pracy przeprowadzono badania terenowe mające na celu określenie przebiegu zmian temperatury gazu w przyłączach gazomierzy średniego ciśnienia w funkcji temperatury otoczenia i strumienia objętości gazu. W celu szczegółowej analizy rozkładu temperatury gazu w przyłączach gazomierzy zbudowano terenowe stanowisko pomiarowe, tak by odzwierciedlało montaż gazomierza w szafce gazowej w granicy działki. Instalacja badawcza została zgodnie z założeniami projektowymi tej pracy wykonana z rur i kształtek stalowych bez szwu. Ponadto została zasilona sprężonym powietrzem o ciśnieniu 3,5 bar, które przed gazomierzami kontrolnymi zredukowano przy użyciu reduktorów do niskiego ciśnienia o wartości 2 kPa. Zdecydowano, że pomiar temperatury przepływającego powietrza dokonywany będzie za każdym z wymienników na odcinku poziomym co 0,5 m oraz na odcinku pionowym co 0,2 m. Ponadto pomiar temperatury medium roboczego prowadzony był na króćcu wlotowym każdego z gazomierzy. Stanowisko badawcze wyposażono również w czujniki do pomiaru temperatury

otoczenia w skrzynce gazowej oraz pomiaru temperatury otoczenia poza skrzynką. Z uwagi na szybkość procesu wymiany ciepła oraz konieczność zachowania jak najlepszej dokładności pomiaru temperatury gazu wytypowano czujniki rezystancyjne Pt100 typu TOPE-363 (kl. A). Do pomiaru temperatury gruntu wykorzystano czujniki rezystancyjne Pt100 typu TOP-172 (kl. B). By wyeliminować zewnętrzne zakłócenia mogące mieć wpływ na pomiary temperatury, wykorzystano przetworniki TxMini-RS485 z transmisją RS485. Dzięki możliwości adresacji każdego z przetworników wykonano magistralę, do której równolegle zostały podłączone wszystkie przetworniki TxMini-RS485 wraz z czujnikami. Transmisja danych odbywała się magistralą podłączoną do rejestratora tworzoną przez przewód dwużyłowy z ekranem.

Układ rejestracji temperatury poddano kalibracji poprzez wywzorcowanie każdego czujnika temperatury w Laboratorium Wzorcującym INiG – PIB. Poprawki uzyskane w trakcie wzorcowania zostały uwzględnione w końcowych wynikach pomiarów.

Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 3.

Teza, że temperatura na wlocie gazomierza jest równa temperaturze medium na głębokości posadowienia sieci gazowej (Mober, 1988), po analizie uzyskanych wyników okazała się błędna (rys. 4). Na rysunku 4 przedstawiono przebieg w czasie

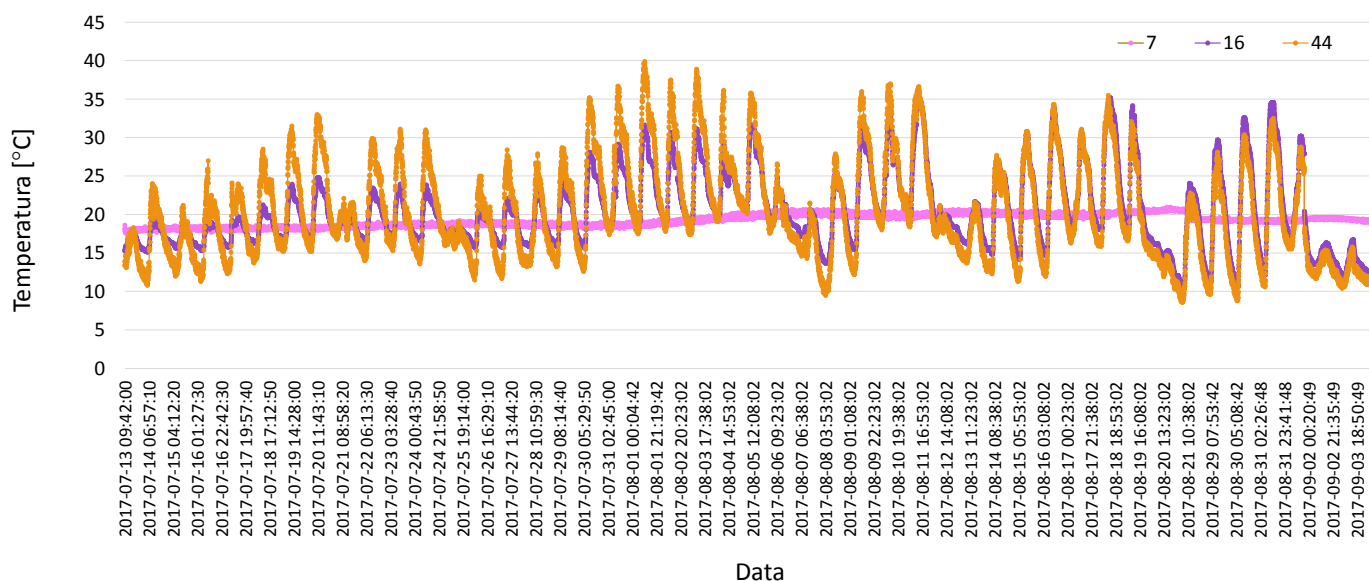


Rys. 3. Schemat badawczego stanowiska terenowego (Dudek, 2018)

P1 – przyłącze 1", P2 – przyłącze 3/4", Wc – wymiennik ciepła, Tg – układ pomiaru temperatury gruntu, Zg – zawór główny, Gk – gazomierz kontrolny, Zn – zawór nastawny, Rp – reduktor ciśnienia, Sg – skrzynka gazowa z postumentem, □ – numery czujników pomiarowych

Fig. 3. Outdoor test rig scheme (Dudek, 2018)

P1 – 1" connection, P2 – 3/4" connection, Wc – heat exchanger, Tg – ground temperature measurement system, Zg – main valve, Gk – reference gas meter, Zn – adjustable valve, Rp – pressure reducer, Sg – gas box with pedestal, □ – numbers of sensors



Rys. 4. Przebieg w czasie temperatury powietrza w przyłączy o średnicy 1" przemysłowego gazomierza miechowego G16 oraz w króćcu wlotowym tego gazomierza – czujniki 7 i 16 względem temperatury otoczenia

Fig. 4. The course of air temperature in the 1" diameter connection of the industrial diaphragm gas meter G16 and in the inlet pipe of this gas meter – sensors 7 and 16, relative to the ambient temperature

temperatur mierzonych przez czujnik 16 (czujnik umieszczony w króćcu wlotowym gazomierza) i czujnik 7 (pomiar temperatury powietrza w przyłączy o średnicy 1" gazomierza na głębokości 1 m p.p.t.) oraz temperatury otoczenia (czujnik 44).

Kolejne analizy wyników pozwoliły na wyciągnięcie wniosku, że gdy temperatura otoczenia znacząco różni się od temperatury medium w przyłączy gazowym na głębokości 1 m p.p.t., główny wpływ na temperaturę wlotową do gazomierza ma strumień objętości przepływającego medium.

W trzecim etapie badań zrealizowano pracę, której celem było wyznaczenie przebiegu zmian temperatury gazu w przemysłowych gazomierzach miechowych w funkcji temperatury otoczenia i cyklicznych zmian strumienia objętości gazu (zgodnie z programem przedstawionym w tabeli 1), mających odzwierciedlać pracę gazomierzy zamontowanych u odbiorców. Do realizacji tej pracy wykorzystano stanowisko terenowe z etapu drugiego, które wyposażono dodatkowo w zawory kulowe do nastaw odpowiedniego przepływu oraz zawory pneumatyczne wraz z sterownikiem (rys. 5).

Tabela 1. Wartości strumieni objętości przepływu powietrza w trakcie prowadzenia badań

Table 1. Values of volume flow rates during the test

Etap programu	Strumień objętości [m ³ /h]
I	16 m ³ /h – 20 s 6 m ³ /h – 10 s 0 m ³ /h – 5 s
II	16 m ³ /h – 15 min 0 m ³ /h – 5 min
III	16 m ³ /h – 5 min 0 m ³ /h – 1 min



Rys. 5. Widok przemysłowego gazomierza miechowego G10 wyposażonego w układ sterujący cyklicznymi zmianami strumienia objętości

Fig. 5. Industrial diaphragm gas meter G10 equipped with a control system for cycling flow rate

Analiza otrzymanych wyników badań po raz kolejny wskazała na silną zależność temperatury gazu wewnątrz przemysłowych gazomierzy miechowych od temperatury otoczenia, ale też od strumienia objętości przepływającego gazu. Szybkie zmiany strumienia objętości w pierwszym etapie nie wpływały znacząco na wskazania temperatur przez mierzone czujniki przy danej temperaturze otoczenia. Wynika to ze zbyt krótkich czasów nastaw danych strumieni, co przekłada się na ciągły dwukierunkowy proces wymiany ciepła.

Kolejna faza badań przewidywała cykle on/off, w których strumień 16 m³/h nastawiony został na okres 15 min, po czym

następowało zamknięcie przepływu na 5 min. Czas 15 min przy strumieniu nominalnym gazomierza badanego pozwala na częściowe osiągnięcie procesu ustalonej wymiany ciepła. Dzięki temu po zamknięciu przepływu widoczne były największe różnice w temperaturach odczytanych przez czujniki umieszczone w badanym obiekcie. Zaobserwowano, że największe różnice temperatur mierzonych w badanym gazomierzu występowały przy znacznym spadku temperatury otoczenia – równym 13,2°C. Silny wpływ zarówno temperatury otoczenia, jak i temperatury gazu na głębokości ułożenia poziomego fragmentu przyłącza powodował zmienność odczytywanych temperatur w badanej próbce (rys. 6).

Opis oznaczeń krzywych użytych na rysunku 6 i w tabeli 2 przedstawiono poniżej:

- T_{wl} – temperatura w króćcu wlotowym,
- T_{roz} – temperatura na wyjściu z komór pomiarowych w rozrządzie układu pomiarowego,
- T_{wy} – temperatura w króćcu wylotowym,
- T_{g_1m} – temperatura gazu w przyłączy gazowym na głębokości 1 m,
- T_{ot} – temperatura otoczenia,
- T_{ots} – temperatura w skrynce gazowej.

Ze względu na zmienne warunki atmosferyczne podczas każdego z etapów badania oraz znaczną liczbę zebranych rekordów dla efektywniejszej analizy – wyznaczono średnie arytmetyczne z otrzymanych w trakcie pomiarów temperatur. W tabeli 2 zestawiono średnie temperatury dla każdego punktu pomiarowego w danym etapie.

Analiza średnich wartości temperatur dała najlepszy obraz procesu wymiany ciepła pomiędzy otoczeniem a wnętrzem

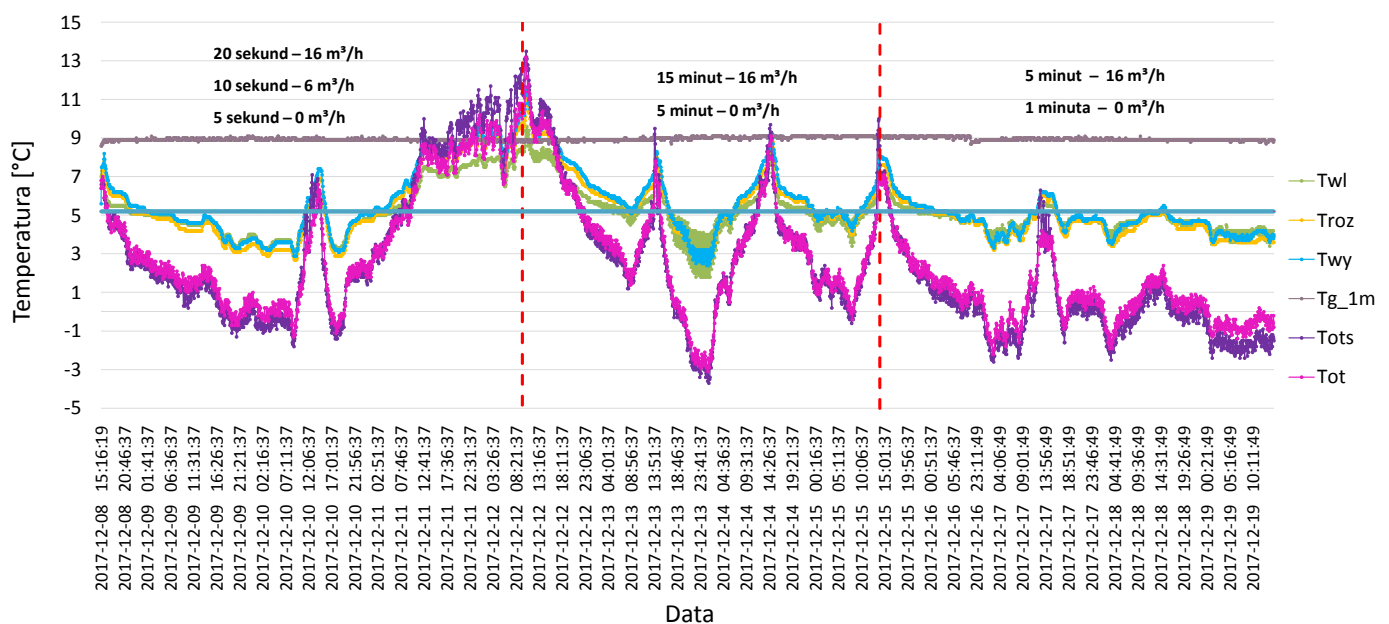
Tabela 2. Średnie wartości temperatur w mierzonych punktach
Table 2. Average temperature values in the measured points

Etap/T	T_{wl}	T_{roz}	T_{wy}	T_{g_1m}	T_{ots}	T_{ot}
	[°C]					
I	5,3	5,6	5,9	8,9	3,8	3,7
II	5,6	5,9	6,2	9,0	3,6	3,6
III	4,7	4,6	4,8	8,9	0,3	0,8
T	5,2	5,3	5,6	8,9	2,5	2,7

przemysłowego gazomierza miechowego w funkcji cyklicznych zmian strumienia objętości. Zaobserwowano równomierny rozkład temperatury (zmiana o 0,3°C) pomiędzy punktami pomiarowymi w badanym gazomierzu zarówno dla etapu pierwszego, który charakteryzował się szybkimi zmianami strumienia, jak i dla etapu drugiego, w którym zmiany te odbywały się w odstępach czasowych. Ponadto należy zaznaczyć, że rozkład ten wystąpił przy niemal identycznej średniej temperaturze otoczenia i temperaturze gazu w przyłączy gazowym na głębokości 1 m p.p.t.

Analizując wyniki z etapu trzeciego i porównując je z wcześniejszymi etapami, można zobaczyć silną zależność pomiędzy temperaturą otoczenia i temperaturą gazu na wlocie do gazomierza a temperaturą gazu w układzie pomiarowym przemysłowych gazomierzy miechowych. Spadek temperatury otoczenia o 2,8°C przy niezmiennej temperaturze gazu w przyłączy gazowym na głębokości 1 m p.p.t. spowodował spadek temperatur mierzonych w badanym gazomierzu:

- w króćcu wlotowym o 0,6°C względem etapu pierwszego i o 0,9°C względem etapu drugiego;



Rys. 6. Rozkład temperatur w gazomierzu względem temperatur otoczenia w trakcie prowadzonych badań

Fig. 6. Temperature distribution in the gas meter relative to ambient temperatures during the tests

- na wyjściu z komór pomiarowych w rozrządzie gazomierza o 1,0°C względem etapu pierwszego i o 1,3°C względem etapu drugiego;
- w króćcu wylotowym o 1,1°C względem etapu pierwszego i o 1,4°C względem etapu drugiego.

Zatem im większa różnica pomiędzy temperaturą gazu na wejściu do gazomierza a temperaturą otoczenia, tym pogłębia się różnica pomiędzy temperaturami w danych punktach pomiarowych.

Wnioski

1. Szczegółowa analiza wyników badań przeprowadzonych w ramach pracy (Dudek i Jaworski, 2017) pozwoliła na określenie wyjścia z komór pomiarowych na rozrządzie układu pomiarowego przemysłowego gazomierza miechowego jako optymalnego miejsca do pomiaru temperatury rozliczeniowej gazu. Niemniej jednak seryjny montaż w tym miejscu czujnika temperatury może stanowić problem techniczny oraz finansowy, dlatego wytypowano lokalizację zastępczą w króćcu wyjściowym. Wartości temperatur otrzymane w trakcie pomiarów w tych dwóch miejscach były podobne. Dopiero po zatrzymaniu przepływu proces wymiany ciepła ukazał znaczne różnice. W rozrządzie przemysłowego gazomierza miechowego zjawisko konwekcji jest utrudnione, co przekłada się na dłuższy czas stabilizacji temperatury w tym miejscu.
2. Przeprowadzone badania w ramach trzeciego etapu pracy miały zweryfikować powyższy wniosek. Wykonując badania, skupiono się przede wszystkim na porównaniu temperatur na wyjściu z komór pomiarowych w rozrządzie układu pomiarowego oraz w króćcu wyjściowym. Gdy temperatura otoczenia znacznie odbiega od temperatury medium na głębokości ułożenia poziomego fragmentu przyłącza (silne mrozy zimą i upalne lato), znaczący wpływ na temperaturę wlotową do gazomierza ma strumień objętości przepływającego gazu. Im większy strumień objętości, tym większy wpływ na temperaturę na króćcu wlotowym gazomierza ma temperatura gruntu. Otrzymane wyniki w danych warunkach jednoznacznie potwierdzają, że różnice temperatur gazu pomiędzy miejscami pomiarowymi są niedostrzegalne, a pomiar temperatury rozliczeniowej w przypadku przemysłowych gazomierzy miechowych z powodzeniem mógłby być dokonywany w króćcu wyjściowym. Należy zwrócić uwagę, że rozwiązanie polegające na pomiarze temperatury rozliczeniowej w króćcu wyjściowym przemysłowego gazomierza miechowego wiąże się z ryzykiem nielegalnego poboru gazu (NPG), który jest niepożądanym zjawiskiem w gazownictwie generującym

straty gazu. Dlatego projektując takie rozwiązanie, należy dołożyć wszelkich starań, by było odporne na NPG.

3. Przeprowadzone dotychczas badania z przemysłowymi gazomierzami miechowymi wskazują, że temperatura gazu w gazomierzu znacznie różni się od wartości przyjętej jako temperatura odniesienia, wynoszącej 0°C. Należy zatem dążyć do zmian w sposobie rozliczania odbiorców za pobrany gaz ziemny. Zmiany takie mogą polegać np. na całkowitej wymianie obecnych gazomierzy i wprowadzeniu do eksploatacji gazomierzy z elektroniczną kompensacją temperatury lub też gazomierzy z mechanicznym korektorem, niemniej jest to niezwykle kosztowne. Najoptymalniejszym rozwiązaniem jest wprowadzenie współczynników korekcyjnych temperatury.
4. Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych posłużą do opisu procesu wymiany ciepła w przemysłowym gazomierzu miechowym, który pozwoli na wyznaczanie temperatury rozliczeniowej gazu jako funkcji temperatury otoczenia, temperatury gazu dopływającego i strumienia objętości gazu. Obliczone wartości temperatury gazu mogłyby posłużyć do wyznaczenia współczynników korekcyjnych temperatury mających zastosowanie podczas bilansowania odbiorców gazu rozliczanych na podstawie pomiaru z wykorzystaniem przemysłowych gazomierzy miechowych.

Artykuł powstał na podstawie prac statutowych pt.: *Wpływ warunków temperaturowych na wymianę ciepła w przemysłowych gazomierzach miechowych* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0056/GM/2016, nr archiwalny: DK-4100-56/2016; *Wpływ warunków środowiskowych na temperaturę gazu w przyłączy gazomierza miechowego* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0072/GM/2017, nr archiwalny: DK-4100-59/2017 oraz *Proces wymiany ciepła w przemysłowych gazomierzach miechowych przy cyklicznych zmianach strumienia objętości* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0119/GM/2017, nr archiwalny DK-4100-158/2017.

Literatura

- Bertke H., 1993. Entwicklung und Prüfung von temperaturumwertenden Gaszählern. *Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern (DVGW)*.
- Dudek A., 2018. Wpływ warunków środowiskowych na temperaturę gazu w przyłączy gazomierza miechowego. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 5: 162–168. DOI: 10.15199/17.2018.5.1.
- Dudek A., Jaworski J., 2017. Wpływ warunków temperaturowych otoczenia na wymianę ciepła w przemysłowych gazomierzach miechowych. *Nafta-Gaz*, 5: 321–331. DOI: 10.18668/NG.2017.05.04.
- DVGW Technische Regeln Arbeitsblatt G 685: Gasabrechnung.
- Gacek Z., Jaworski J., 2020. Optimisation of measuring system construction in the context of high flow variability. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 81: 103447. DOI: 10.1016/j.jngse.2020.103447.
- Hlinčík T., Koza V., 2012. Vliv teploty a průtoku na údaj membránových plynoměru bez teplotní kompenzace. *Paliva*, 4(4): 111–116.

- Hlinčík T., Koza V., 2016. Temperature field inside the diaphragm gas meter. *Paliva*, 8(1): 39–44.
- Jaworski J., 1999. Badania odporności gazomierzy miechowych na temperaturę otoczenia. *Nafta-Gaz*, 8: 466–471.
- Jaworski J., 2004. Wpływ temperatury otoczenia na pracę gazomierzy miechowych w aspekcie krajowych warunków klimatyczno-technicznych. *Rozprawa doktorska, AGH, Kraków*.
- Jaworski J., Gacek Z., 2016. Badania wpływu magnesów neodymowych na dokładność pomiaru gazomierzy miechowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 12: 438–444.
- Jaworski J., Gacek Z., 2018. Analiza techniczna metody doszacowywania zużycia gazu stosowanej w polskim systemie dystrybucyjnym w przypadku odbiorców grupy WS. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 12: 431–435.
- Jaworski J., Kukulka-Zajac E., Kułaga P., 2019. Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu dodatku wodoru do gazu ziemnego na elementy systemu gazowniczego. *Nafta-Gaz*, 10: 625–632. DOI: 10.18668/NG.2019.10.04.
- Jaworski J., Kułaga P., Blacharski T., 2020. Study of the Effect of Addition of Hydrogen to Natural Gas on Diaphragm Gas Meters. *Energies*, 13: 3006. DOI: 10.3390/en13113006.
- Jaworski J., Kułaga P., Gacek Z., 2018a. Gazomierze termiczne w rozliczeniach indywidualnych. Charakterystyka i perspektywy zastosowania. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 11: 390–395. DOI: 10.15199/17.2018.11.1.
- Jaworski J., Swat M., Kułaga P., 2018b. Q INiG jako element wzrostu bezpieczeństwa technicznego i jakości wyrobów – zasady badań i certyfikacji. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 12: 426–430. DOI: 10.15199/17.2018.12.1.
- Kelner E., Niebergall B., 2011. Tracking the gas temperature effect in a distribution system. *AGA Operations Conference, Nashville*.
- Kułaga P., 2015. Trwałość gazomierzy miechowych – różne metody badania. *Nafta-Gaz*, 8: 565–571.
- Kułaga P., Jaworski J., 2016. Wyniki badań trwałości gazomierzy miechowych uzyskiwane z zastosowaniem różnych metod – analiza porównawcza. *Nafta-Gaz*, 8: 645–650. DOI: 10.18668/NG.2016.08.09.
- Lipka T., 2020. Internet of Things (IoT) – LoRaWAN w praktyce. *Nafta Gaz*, 2: 119–124. DOI: 10.18668/NG.2020.02.06.
- Matusik J., Jaworski J., 2017. Optymalny dobór gazomierzy miechowych przez operatora systemu gazowniczego. *Nafta-Gaz*, 4: 274–286. DOI: 10.18668/NG.2017.04.08.
- Mobers L.P.H., 1988. Über die Meßgenauigkeit von Haushaltsgaszählern in Holland. *Gwf Gas-Erdgas*, 129(2): 63–66.
- Nath B., 1995. Temperaturverhalten von Industriebalgengaszählern. *Gwf Gas-Erdgas*, 136(2): 79–84.
- Wagner-Staszewska T., Jaworski J., 2001. Wpływ temperatury otoczenia na nierozliczone ilości gazu u indywidualnych odbiorców gazu. *Nafta-Gaz*, 11: 620–626.
- Wagner-Staszewska T., Jaworski J., Gacek Z., 2007a. Wybrane problemy rozliczania zużycia gazu przez indywidualnych odbiorców. *Prace Instytutu Nafty i Gazu*, 144: 1–98.
- Wagner-Staszewska T., Jaworski J., Gacek Z., 2007b. Wyniki badań rozliczania odbiorców gazu w różnych warunkach klimatycznych Polski. *Nafta-Gaz*, 10: 624–632.
- Wagner-Staszewska T., Jaworski J., Gacek Z., 2008. Metoda objętościowa „skorygowana” – nowy system rozliczania indywidualnych odbiorców gazu. *Nafta-Gaz*, 2: 114–120.



Mgr inż. Adrian DUDEK
Asystent w Zakładzie Metrologii Przepływów
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: adrian.dudek@inig.pl

OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU METROLOGII PRZEPŁYWÓW

- prace badawcze dla przedsiębiorstw gazowniczych z zakresu dokładności i bezpieczeństwa pomiaru objętości gazu (badania jakości gazomierzy, szacowanie nierozliczonych ilości gazu, analizy systemów rozliczeniowych, analizy stacji gazowych, szacowanie niepewności pomiaru, w tym na potrzeby emisji CO₂);
- badania w ramach akredytacji PCA nr AB 041 (w tym na potrzeby oceny zgodności z dyrektywą MID (Moduł B) nr 2014/32/U – Jednostka Notyfikowana nr 1450):
 - » gazomierzy rotorowych, zgodnie z PN-EN 12480,
 - » gazomierzy turbinowych, zgodnie z PN-EN 12261,
 - » gazomierzy miechowych, zgodnie z PN-EN 1359 (w tym badania odporności gazomierzy miechowych na działanie magnesów neodymowych),
 - » gazomierzy miechowych, turbinowych, rotorowych, ultradźwiękowych oraz termicznych masowych zgodnie z OIML R137-1&2:2012,
 - » przeliczników objętości, przetworników ciśnienia i temperatury oraz czujników platynowych termometrów rezystancyjnych, zgodnie z PN-EN 12405-1;
- badanie odporności gazomierzy na zanieczyszczenia pyłowe i glikol (EN 16314);
- badania w ramach akredytacji PCA nr AB 041 odporności: powłok ochronnych na korozję, na mgłą solną, wilgotność, uderzenie, zarysowanie, odporności chemicznej na ciecz;
- badania w ramach akredytacji PCA nr AB 041 przyłączy do gazomierzy miechowych, szafek gazowniczych z wyposażeniem (na potrzeby krajowej oceny technicznej) i łączników do gazomierzy;
- wzorcowanie, także w ramach akredytacji AP 152, gazomierzy, przepływomierzy, ciśnieniomierzy, termometrów, przetworników pomiarowych ciśnienia i temperatury, mierników i kalibratorów wielkości elektrycznych (I, U, R);
- badanie rejestratorów objętości i gazomierzy na zgodność protokołu komunikacyjnego ze standardem Smart-Gas;
- ekspertyzy metrologiczne gazomierzy oraz ekspertyzy pod kątem nielegalnego poboru gazu;
- działalność szkoleniowa dotycząca m.in. nielegalnego poboru gazu – metod wykrywania oraz przeciwdziałania w obszarze pomiarów u indywidualnych odbiorców.



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

 INSTYTUT NAFTY I GAZU
– Państwowy Instytut Badawczy