

Wzorzec odniesienia GUM jednostki miary przepływu i strumienia objętości gazu

Jakub Wildner i Arkadiusz Zadworny

Główny Urząd Miar – Zakład Mechaniki i Akustyki

Wzorzec odniesienia GUM jednostki miary przepływu i strumienia objętości gazu znajdujący się w Głównym Urzędzie Miar tworzy sześć stanowisk, które można podzielić na dwie grupy: stanowiska z kontrolnym zbiornikiem dzwonowym oraz stanowiska tłokowe. W niniejszym artykule przedstawiono budowę, zasadę działania oraz wyniki porównań międzynarodowych największego na świecie stanowiska z kontrolnym zbiornikiem dzwonowym.

The GUM reference standard of the gas flow rate and the volume flow rate

The reference COM standard of the gas flow rate and the volume flow rate, which is located in the Central Office of Measures, consists of six measurement stands, which are either bell provers or piston measurement stands. In this article, we present construction, operating principle and results of international comparisons of the largest bell prover measurement stand in the world.

1. Wstęp

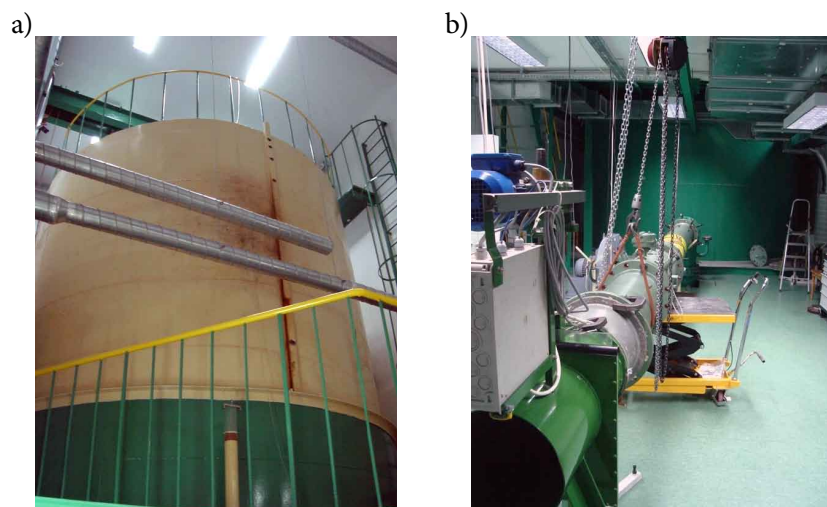
Prace nad projektem stanowiska pomiarowego z kontrolnym zbiornikiem dzwonowym nr S05 rozpoczęto w latach 50. XX wieku. Zaproponowana konstrukcja i rozwiązania techniczne były znaczącym osiągnięciem ówczesnych inżynierów pracujących w GUM, a samo stanowisko S05 (z niewielkimi zmianami) jest do dziś wykorzystywane w bieżącej pracy laboratorium. Pomimo upływu lat stanowisko wciąż działa na zadowalającym poziomie, co potwierdzają wyniki porównań międzynarodowych.

W skład wzorca odniesienia jednostki miary przepływu i strumienia objętości gazu znajdującego się w Głównym Urzędzie Miar, wchodzi m.in. trzy stanowiska z kontrolnym zbiornikiem dzwonowym, które łącznie realizują strumienie objętości w zakresie od 16 dm³/h do 7000 m³/h. W niniejszym artykule przedstawiono budowę, zasadę działania oraz wyniki porównań międzynarodowych największego z nich.

2. Budowa i działanie stanowiska nr S05

Stanowisko pomiarowe z kontrolnym zbiornikiem dzwonowym nr S05 służy do wyznaczania objętości przepływu i strumienia objętości gazu podczas określania charakterystyki metrologicznej gazomierzy i wzorcowania przepływomierzy (np. rotametrów do gazu). Wykonane jest w postaci zbiornika stałego, wypełnionego wodą oraz ruchomego zbiornika zwanego dzwonem. Przy wzorcowaniu zbiornika dzwonowego określa się objętości dzwonu ograniczone płaszczyznami prostopadłymi do jego osi, odpowiadające przyrostom wysokości mierzonych za pomocą listwy cyfrowej. Pomiar polega na wypuszczeniu spod dzwonu, przez badany przyrząd, określonej objętości powietrza w znanym czasie. Objętość ta zależy od zmiany wysokości dzwonu, która jest mierzona i rejestrowana w całym zakresie jego ruchu oraz zmian położenia poziomu wody pod dzwonem względem dowolnego stałego punktu odniesienia. Zmiany poziomu wody są zjawiskiem wtórnym i z założenia konstrukcji nie

są rejestrowane podczas bieżącej pracy stanowiska. Obliczenia i pomiary wykazały jednak, że wpływ ruchu wody na objętość wypartego powietrza jest znaczny, co jest uwzględniane podczas wyznaczania charakterystyki stanowiska.



Rys. 1. Stanowisko z kontrolnym zbiornikiem dzwonowym nr S05: a) dzwon, b) wylot z odcinkiem pomiarowym i zamontowanym gazomierzem

Poziom wody pod dzwonem zmienia swoje położenie z dwóch przyczyn: wypierania jej na skutek zanurzania dzwonu oraz zmian ciśnienia pod dzwonem.

Kompensacja pierwszego czynnika jest realizowana poprzez zastosowanie rozszerzającego się ku górze leja (rys. 2), do którego wpływa wypierana woda. Jest to równocześnie kompensacja zmian ciśnienia poprzez zmianę powierzchni czynnej. Błędy w wykonaniu leja powodują, że nie jest ona całkowita, ale czynnik ten ma niewielkie znaczenie.

Drugi czynnik zależy od niedoskonałości kompensacji strat na ciężarze, tarcia w rolkach występującego podczas opadania dzwonu oraz oporów jakie stawia woda zanurzającemu się w niej dzwonowi. Opory te w znacznej mierze zależą od prędkości opadania dzwonu. W związku z tym otrzymujemy zależność zmiany położenia poziomu wody Δ w funkcji wysokości dzwonu H i prędkości jego opadania Q , która jest wyznaczana podczas wzorcowania stanowiska

$$\Delta = f(H, Q) \quad (1)$$

zaś ostateczna objętość wypchanego spod dzwonu powietrza V określona jest wzorem

$$V = V_H + V_\Delta \quad (2)$$

gdzie:

V_H – objętość wypchanego powietrza przez opadający dzwon, przy założeniu, że poziom wody pod dzwonem jest stały,

V_Δ – objętość powietrza wypchanego przez dzwon przez zmianę położenia poziomu wody.

Ostatecznym efektem wzorcowania stanowiska jest opracowanie tabeli przedstawiającej zależność objętości wypchniętego powietrza V w funkcji natężenia przepływu Q dla określonych dawek objętości.

3. Wzorcowanie gazomierzy na stanowisku S05

Gazomierz montuje się na fragmencie rurociągu, który jest podłączony do wylotu stanowiska. Przed i za gazomierzem montuje się prostoliniowe odcinki rurociągu o minimalnej długości odpowiednio 10 DN i 3 DN (gdzie DN jest to średnica nominalna gazomierza).

Po zamontowaniu gazomierza sprawdzana jest szczelność całego układu. Jednym z kryteriów szczelności może być np. spełnienie warunku, aby strumień objętości wywołany nieszczelnościami nie przekroczył wartości 0,1 % minimalnego strumienia objętości wzorcowanego gazomierza.

Samo wzorcowanie gazomierza polega na wyznaczeniu błędów gazomierza w funkcji strumienia objętości przepływającego przez niego powietrza. Błędy wzorcowanego gazomierza wyznacza się na podstawie przyrostu wartości objętości wskazanej przez gazomierz i wartości dawki zrealizowanej przez wzorzec, odniesionej do warunków gazomierza. Równanie pomiaru jest wyprowadzone z równania przemiany gazowej między wzorcem odniesienia a wzorcowanym gazomierzem i jest określone wzorem

$$E = \left(\frac{(V_{ik} - V_{ip}) \cdot P_i \cdot T_c}{V_c \cdot P_c \cdot T_i} - 1 \right) \quad (3)$$

gdzie:

V_{ip}, V_{ik} – początkowe i końcowe wskazanie badanego gazomierza,

P_c, P_i – ciśnienie bezwzględne na stanowisku wzorcowym i przed gazomierzem,

T_c, T_i – temperatura bezwzględna na stanowisku wzorcowym i przed gazomierzem,

V_c – przyrost objętości na stanowisku wzorcowym.

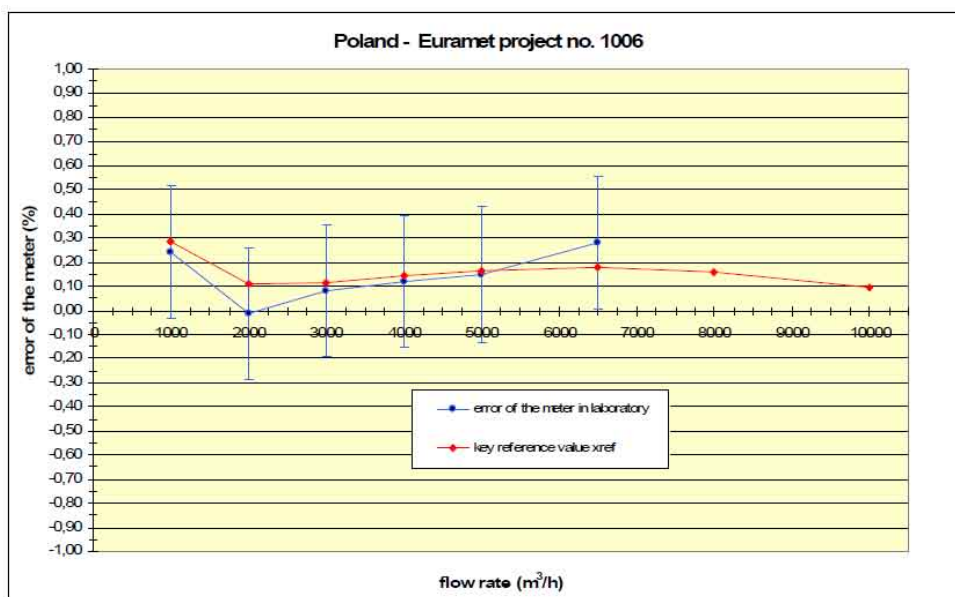
4. Projekt EURAMET nr 1006

W 2008 roku Laboratorium Przepływów GUM wzięło udział w międzynarodowym projekcie EURAMET nr 1006. Projekt dotyczył porównania wyznaczonych charakterystyk metrologicznych gazomierza turbinowego o wielkości G6500, w zakresie strumieni objętości od 1000 m³/h do 10 000 m³/h. Wzięły w nim udział laboratoria z czternastu państw europejskich: Niemiec, Hiszpanii, Francji, Holandii, Danii, Finlandii, Polski, Litwy, Słowacji, Węgier, Czech, Serbii, Turcji, Szwajcarii.

Ze względu na zakres pomiarowy stanowiska z kontrolnym zbiornikiem dzwonowym nr S05, Laboratorium Przepływów wzięło udział w porównaniach w zakresie strumieni objętości do 6500 m³/h.

Wyniki porównań, w stosunku do wartości uzyskanych ze wszystkich laboratoriów, przedstawione są na rys. 4. Linią niebieską pokazano wyniki uzyskane w Laboratorium Przepływów Zakładu Mechaniki i Akustyki GUM wraz z zaznaczoną niepewnością pomiaru. Największa bezwzględna różnica wartości uzyskanych z pomiarów nie przekraczała wartości 0,12 %, dla względnej niepewności pomiaru 0,27 %, co należy uznać za wynik bardzo dobry. Laboratorium Przepływów w przyszłości będzie dążyć do tego, aby można było wykonywać pomiary na tym stanowisku z niepewnością nie przekraczającą 0,2 %.

Aby osiągnąć ten cel laboratorium zamierza zmodernizować układ pomiarowy wykorzystywany podczas wzorcowania stanowiska, m.in. poprzez zastosowanie kamery CCD do monitorowania poziomu wody. Ponadto zostanie zmieniona metoda wzorcowa-



Rys. 4. Wyniki uzyskane w Laboratorium Przepływów w projekcie EURAMET nr 1006

nia. Dotychczas stanowisko było wzorcowane metodą geometryczną. Natomiast najbliższe wzorcowanie zostanie przeprowadzone metodą objętościową za pomocą, specjalnie do tego celu skonstruowanej kolby pomiarowej o objętości 500 dm³ lub gazomierzy wzorcowych które przeniosą jednostkę objętości przepływu z mniejszego stanowiska S03.

Literatura

- [1] Final Report – Draft B, EURAMET Project No. 1006.
- [2] Instrukcja wzorcowania zbiornika S05.