

# Wzorce odniesienia jednostki objętości gazu ciekłego propan-butan

Paweł Sikorski  
Okręgowy Urząd Miar w Łodzi

**Streszczenie.** In the paper the measuring methods as well as the reference standards applied during testing of the meters and liquid propane - butane gas measurement installation have been presented. The project of measuring setup being self-constructed in the Regional Office of Measures in Lodz has also been shown. This project came into being as a result of experiences connected with the carried out legal metrology measurements as well as with the calibration of the above mentioned meters and liquid propane - butane gas measurement installation (Reference standards of the volume unit of liquid propane – butane).

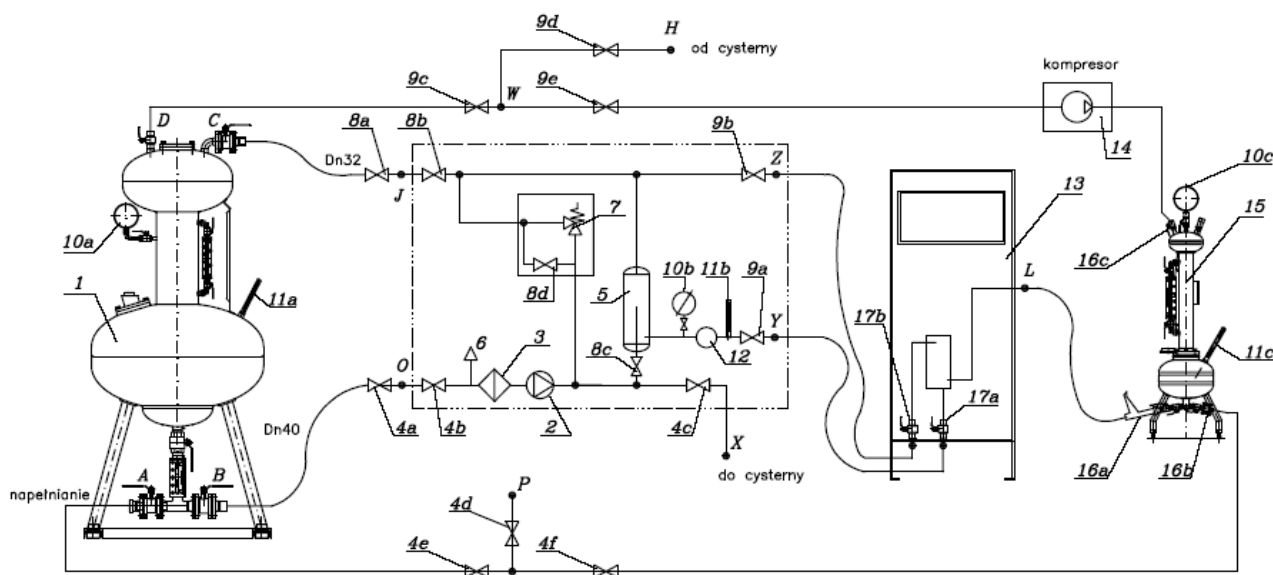
## Wstęp

Pracownia Pomiarów Przepływów, która zajmuje się między innymi wyznaczaniem charakterystyk metrologicznych liczników i instalacji do gazu ciekłego propan-butan jest przykładem charakteryzującym zarówno liczne obszary prawne, jak i rodzaje oferowanych usług realizowanych przez Wydział Termodynamiki Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi. Wykonywana prawna kontrola metrologiczna, ocena zgodności w zakresie elementów do badania typu dla GUM (moduł B) oraz weryfikacji końcowej wyrobu (moduł F), wzorcowania liczników i instalacji do gazu ciekłego propan-butan oraz ich wzorców odniesienia, tzn. kolb metalowych I,II rzędu zaowocowały zebraniem pierwszych doświadczeń w tym zakresie.

## 1 Charakterystyka stanowiska pomiarowego do badania instalacji do gazu ciekłego propan-butan w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi

1.1 Posiadane przez Okręgowy Urząd Miar w Łodzi wzorce odniesienia stosowane są obecnie przy badaniach liczników i instalacji do gazu ciekłego propan-butan na stanowiskach producentów instalacji do gazu ciekłego propan-butan. Na bazie zebranych doświadczeń powstał projekt stanowiska budowanego w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi. Schemat stanowiska do badań liczników i instalacji do gazu ciekłego propan-butan przedstawia rysunek 1.

- Elementy stanowiska przedstawione na rysunku 1:
- kolba metalowa II rzędu o pojemności 500 dm<sup>3</sup> (1) jako: wzorec odniesienia przy badaniach w zakresie strumieni objętości (60÷500) dm<sup>3</sup>/min oraz zbiornik magazynowy przy badaniach w zakresie strumieni objętości (5÷60) dm<sup>3</sup>/min,
  - pompa (2),
  - filtr (3),
  - zawory odcinające: (A), (B), (C), (D), (4a), (4b), (4c), (4d), (4e), (4f), (8a), (8b), (8c), (9a), (9b), (9c), (9d), (9e), (16a), (16b), (16c), (17a), (17b),
  - przyłącza (W), (X), (Y), (Z), (H), (J), (O), (P), (L),
  - separator gazu (5),
  - hydrostat (6),
  - zawór bezpieczeństwa (7),
  - by-pass (8d),
  - manometry sprężynowe (10a), (10b), (10c),
  - termometr szklany cieczowy (11a), (11b), (11c),
  - kompresor (14),
  - przeziernik (12),
  - licznik wzorcowany (13)
  - kolba metalowa II rzędu o pojemności 20 dm<sup>3</sup> (15) jako wzorec odniesienia przy badaniach w zakresie strumieni objętości (5÷60) dm<sup>3</sup>/min,
- Ponadto w skład stanowiska wchodzi:
- termodensymetr



Rys.1. Schemat stanowiska do badań liczników i instalacji do gazu ciekłego propan-butan

- czasomierz elektroniczny,
- termometr i barometr do monitorowania warunków środowiskowych.

1.2 Skrócona instrukcja obsługi i wykonywania pomiarów w badaniach w zakresie strumieni objętości ( $60 \div 500$ )  $\text{dm}^3/\text{min}$ .

Badana instalacja przyłączona jest do kolby metalowej II rzędu o pojemności  $500 \text{ dm}^3$  (1) - faza ciekła doprowadzana jest króćcem na zaworze (A) przewodem elastycznym z badanej instalacji przez przyłącze (P), a faza gazowa króćcem na zaworze (D) przewodem elastycznym ze zbiornikiem autocysterny przez przyłącza (W) i (H), na której zamontowana jest sprawdzana instalacja. Napełnianie kolby (1) podczas pomiaru następuje za pomocą pompy wchodzącej w skład sprawdzanej instalacji przy zamkniętych zaworach (B), (C), (D) i otwartym (A). Przed pomiarem kolba (1) wolna jest od fazy ciekłej, natomiast wypełnia ją faza gazowa gazu ciekłego propan-butan. Podczas pomiaru faza ciekła wypełnia kolbę (1), natomiast część fazy gazowej przechodzi w stan ciekły. Cechą charakterystyczną dla tego procesu jest szybki wzrost ciśnienia oraz powolny wzrost temperatury w kolbie (1). Dolnym i górnym ograniczeniem pojemności kolby są płynowskazy. W trakcie pomiaru wykonuje się odczyty wskazań następujących przyrządów pomiarowych:

- Instalacja sprawdzana: wskazanie początkowe i końcowe objętości gazu, temperatura gazu, chwilowy strumień objętości.
- Przyrządy wzorcowe: wskazanie płynowskazu dolnego i górnego kolby (1), wskazanie początkowe (przed pomiarem) i końcowe (po pomiarze) manometru (10a), wskazanie termometru (11a) przed i po napełnieniu kolby, czas pomiaru, gęstość gazu, temperatura i ciśnienie otoczenia.

Po zamknięciu zaworu (A) z uwagi na postępującą w dalszym ciągu przemianę fazy gazowej w ciekłą, czemu towarzyszy powolny spadek ciśnienia w kolbie oraz przyrost wskazań objętości płynowskazu górnego istotnym jest, aby odczyty objętości na kolbie (1) były równoczesne z odczytami ciśnienia wskazanego na manometrze (10a). Duże znaczenie dla skutecznego i prawidłowego wykonania pomiarów ma praca operatora zamykającego w odpowiednim czasie zawór (A) uniemożliwiający dalsze napełnianie kolby (1).

Opróżnienie kolby następuje przez zamknięcie zaworu (A) i otwarcie zaworów (B), (4a), (4b), (4c). Faza ciekła kierowana jest za pomocą pompy (2) do autocysterny przez przyłącze (X), natomiast faza gazowa napływa do kolby (1) przez przyłącza (W) i (H) z autocysterny przy otwartych zaworach (9c), (9d) przy zamkniętym zaworze (9d).

1.3 Skrócona instrukcja obsługi i wykonywania pomiarów w badaniach w zakresie strumieni objętości ( $5 \div 60$ )  $\text{dm}^3/\text{min}$ .

Badany licznik (13) instalowany jest w układ pomiarowy przewodem elastycznym przez przyłącze (L) do zaworu oddolnego kolby metalowej II rzędu o pojemności  $20 \text{ dm}^3$  (15) za pomocą zaworu do tankowania zbiorników w pojazdach samochodowych (16a). Faza ciekła doprowadzona jest do licznika przez zawór (17a) z przyłącza (Y). Kolba metalowa II rzędu o pojemności  $500 \text{ dm}^3$  (1) pełni rolę magazynu. Z kolby (1) faza ciekła przez zawór (B) oraz (4a) i (4b) doprowadzana jest do pompy (2). Wstępną regulację strumienia objętości wykonuje się za pomocą by-passu (8d). Następnie faza ciekła kierowana jest przez separator gazu (5) na przyłącze (Y). Punktem początkowym fazy gazowej jest separator gazu w układzie zasilania wzorcowanego licznika kontrolnego (13), podłączanego zaworem (17b) do przyłącza (Z), przy

otwartych zaworach (8a), (8b), (9b) i (C). W trakcie pomiaru, czyli podczas napełniania kolby metalowej II rzędu (15) zawory: (B), (C), (4a), (4b), (8a), (8b), (8c), (9b), (16a), (17a), (17b) są w pozycji otwartej, natomiast zawory: (A), (D), (4c), (16b) i (16c) w pozycji zamkniętej. Zawór (8d) daje możliwość wstępnej regulacji strumienia objętości. W trakcie pomiaru wykonuje się analogiczne odczyty wskazań przyrządów pomiarowych sprawdzanego licznika (13) oraz kolby (15), jak przy badaniach opisanych w punkcie 1.2. Opróżnianie kolby (15) następuje fazą gazową pobieraną z kolby (1) przez zawór (D), (9c), przez przyłącze (W), a następnie zaworami (9e) i (16c) za pomocą kompresora (14) przy zamkniętym zaworze (9d), a faza ciekła powraca do kolby o pojemności  $500 \text{ dm}^3$  (1) przez otwarte zawory (16b), (4f), (4e), (A), przy zamkniętym zaworze (4d).

1.4 Wymagania dotyczące bezpieczeństwa.

Elementy stanowiska takie jak zbiorniki (w tym przypadkiem kolby (1) i (15) oraz rurociągi o średnicach 32 mm muszą posiadać dokumentację techniczną z potwierdzeniami producenta o wykonaniu odpowiednich prób hydraulicznych i chemicznych (np. próba ciśnieniowa, azotowanie) i są wprowadzone do użytkowania na podstawie zezwoleń (certyfikatów na ich wytworzenie oraz księgi rewizyjnej na ich użytkowanie) przez Urzędy Dozoru Technicznego. Inne elementy stanowiska takie jak: przewody elastyczne zawory, pompa, kompresor, powinny posiadać odpowiednie atesty bezpieczeństwa. Praca na takim stanowisku wymaga stosowania przez osoby obsługujące odpowiedniej odzieży ochronnej oraz stosowania bezpiecznych narzędzi w tym środowisku.

## 2 Wyznaczanie błędu badanej instalacji do gazu ciekłego propan-butan

2.1 Wzór na obliczenie błędu względnego badanej instalacji przedstawia wzór 1:

$$(1) \quad e_x = \frac{\Delta V_{iX}}{V_X} - 1$$

gdzie:  $e_x$  - błąd względny wskazania badanej instalacji otrzymanego w wyniku pojedynczego pomiaru,  $\Delta V_{iX}$  - różnica wskazań badanej instalacji na początku i końcu pomiaru,  $V_X$  - objętość poprawna.

2.2 Wzór na obliczenie wartości poprawnej badanej instalacji przedstawia wzór 2:

$$(2) \quad V_X = V_{iK2} - V_{iK1} + \delta V_{iT} + \delta V_{iP} + \delta V_{iG} + \delta V_{iE} + \delta V_{iGT}$$

gdzie:  $V_{iK1}$  - objętość wskazana przez kolbę na początku pomiaru (dotyczy kolby o pojemności  $500 \text{ dm}^3$ ),  $\delta V_{iK2}$  - objętość wskazana przez kolbę na końcu pomiaru,  $\delta V_{iT}$  - poprawka objętości wynikająca z rozszerzalności objętościowej materiału, z którego wykonana jest kolba metalowa II rzędu do gazu ciekłego propan-butan,  $\delta V_{iP}$  - poprawka objętości wynikająca z wpływu zmian ciśnienia na wskazania kolby na początku i na końcu pomiaru podana w świadectwie wzorcowania kolby,  $\delta V_{iG}$  - poprawka objętości wynikająca ze zmian objętości fazy gazowej w kolbie przed i po napełnieniu,  $\delta V_{iE}$  - poprawka objętości wynikająca z błędów kolby wyznaczonych podczas jej wzorcowania, określona w świadectwie wzorcowania kolby,  $\delta V_{iGT}$  - poprawka objętości wynikająca z rozszerzalności objętościowej gazu ciekłego propan-butan.

2.3 Wzór na poprawkę objętości wynikająca z rozszerzalności objętościowej materiału, z którego wykonana jest kolba metalowa II rzędu do gazu ciekłego propan-butan przedstawia wzór 3:

$$(3) \quad \delta V_{IT} = (1 + \alpha_s(t_x - t_{01}))$$

gdzie:  $\alpha_s$  - temperaturowy współczynnik rozszerzalności objętościowej materiału, z którego wykonana jest kolba,  $t_x$  - temperatura gazu w kolbie,  $t_{01}$  - temperatura odniesienia wzorcowania kolby.

2.4 Wzór na poprawkę objętości wynikająca ze zmian objętości fazy gazowej w kolbie przed i po napełnieniu przedstawia wzór 4:

$$(4) \quad \delta V_{IG} = a(5P_1 - P_2)$$

gdzie:  $P_1$  - ciśnienie początkowe w kolbie,  $P_2$  - ciśnienie końcowe w kolbie,  $a$  - współczynnik korekcji objętościowej wynoszący dla pomiarów wykonywanych za pomocą kolby (15) o pojemności 20 dm<sup>3</sup> 0,184 dm<sup>3</sup>/MPa oraz pomiarów wykonywanych za pomocą kolby (1) o pojemności 500 dm<sup>3</sup> 4,6 dm<sup>3</sup>/MPa.

2.5 Wzór na poprawkę objętości wynikająca z rozszerzalności objętościowej gazu ciekłego propan-butan przedstawia wzór 5:

$$(5) \quad \delta V_{IGT} = (1 + \kappa_s(t_x - t_{02}))$$

gdzie:  $\kappa_s$  - temperaturowy współczynnik rozszerzalności objętościowej gazu propan-butan,  $t_x$  - temperatura gazu w kolbie,  $t_{02}$  - temperatura gazu na wejściu sprawdzanej instalacji.

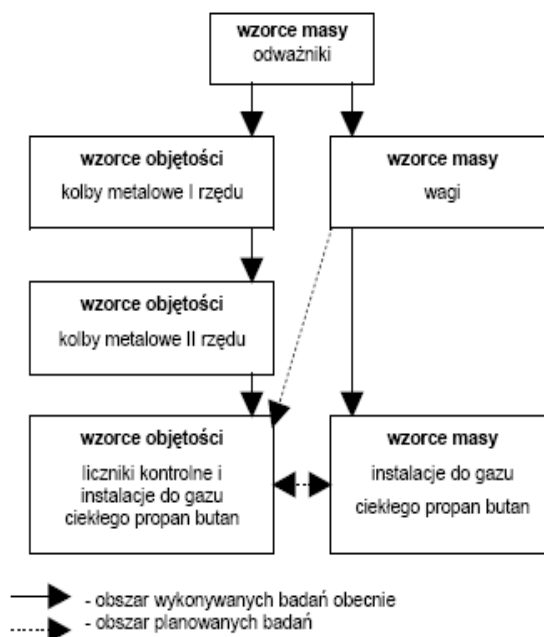
### 3. Zachowanie spójności pomiarowej przy badaniach instalacji do gazu ciekłego propan- butan

Badając przyrządy pomiarowe do pomiarów gazu ciekłego propan-butan Okręgowy Urząd Miar w Łodzi zachowuje spójność pomiarową przez zastosowanie kolb metalowych II rzędu do gazu ciekłego propan-butan o pojemnościach 20 dm<sup>3</sup> i 500 dm<sup>3</sup> oraz licznika kontrolnego do gazu ciekłego propan-butan o zakresie strumieni (5÷60) dm<sup>3</sup>/min. Schemat zachowania spójności pomiarowej przedstawiono na rysunku 2.

Wzorce objętości, kolby metalowe I rzędu wzorcowane są metodą grawimetryczną w Obwodowym Urzędzie Miar w Lesznie i są one wzorcami odniesienia dla laboratorium w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi przy wzorcowaniu kolb metalowych II rzędu metodą volumetryczną.

Obecnie administracja miar w Polsce przy legalizacji instalacji do gazu ciekłego propan-butan wykorzystuje na ogół kolby metalowe II rzędu (sporadycznie liczniki kontrolne). Są one wzorcami odniesienia w stanowiskach pomiarowych do sprawdzania instalacji do gazu propan-butan i jak pozostałe przyrządy pomiarowe wchodzące w ich skład, posiadają aktualne świadectwa wzorcowania zgodnie z obranymi harmonogramami wzorcowań.

Badania instalacji przeznaczonych do ciągłego i dynamicznego pomiaru ilości objętości przeprowadzano mieszaniną gazu ciekłego propan-butan o gęstościach (0,539÷0,569) g/cm<sup>3</sup> w temperaturze rzeczywistej oraz w odniesieniu do 15 °C, zgodnie z wymaganiami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 27 grudnia 2007 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać instalacje pomiarowe do ciągłego i dynamicznego pomiaru



Rys.2. Schemat zachowania spójności pomiarowej przy badaniach instalacji do gazu ciekłego propan-butan.

ilości cieczy innych niż woda, oraz szczegółowego zakresu badań i sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych [1] oraz w rozporządzeniu Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 2 kwietnia 2004 r. w sprawie wymagań metrologicznych, którym powinny odpowiadać przyrządy pomiarowe do dynamicznego pomiaru objętości lub masy cieczy innych niż woda [2].

Podstawowe problemy napotkane podczas przeprowadzanych badań to:

- zmienne warunki środowiskowe: badania wykonywane są w miejscu użytkowania instalacji w różnych porach roku,
- zmienne temperatury oraz gęstości mierzonej cieczy,
- odmienne konstrukcje badanych instalacji.

Głównym celem planowanych badań jest walidacja obecnie stosowanych metod pomiarowych. Będzie to możliwe poprzez jednoczesne wykorzystanie metody masowej i objętościowej w wyznaczeniu wartości poprawnej gazu, która przepływa przez badaną instalację.

### LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 grudnia 2007 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać instalacje pomiarowe do ciągłego i dynamicznego pomiaru ilości cieczy innych niż woda, oraz szczegółowego zakresu badań i sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych (Dz. U. z 2008 r. Nr 4, poz. 23).
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 2 kwietnia 2004 r. w sprawie wymagań metrologicznych, którym powinny odpowiadać przyrządy pomiarowe do dynamicznego pomiaru objętości lub masy cieczy innych niż woda (Dz. U. Nr 77, poz. 731).