

Marek MUSIOŁ
Okręgowy Urząd Miar w Łodzi
Wydział Mechaniki i Akustyki

WZORCOWANIE MIERNIKÓW DO POMIARU POZIOMU WYSOKOŚCI NAPEŁNIENIA ZBIORNIKÓW

W pracy przedstawiono opis stanowisk do wzorcowania mierników do pomiaru poziomu wysokości napełnienia zbiorników będących własnością Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi. Mierniki pozwalają na ciągle monitorowanie pracy zbiorników.

CALIBRATION OF GAUGES FOR MEASURING THE LIQUID FILLING LEVEL IN THE STORAGE TANKS

The paper provides a description of setups, which are owned by the Regional Office of Measurements in Lodz, and used for calibration of gauges for measuring the liquid filling level in the storage tanks. The gauges allow for continuous functional monitoring of the tanks.

1. WSTĘP

Mierniki do pomiaru poziomu wysokości napełnienia zbiorników w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi są sprawdzane od kilkunastu lat. Do kwietnia 2003 roku mierniki podlegały obowiązkowi legalizacji. Natomiast od kwietnia 2003 roku zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi, mierniki do pomiaru wysokości napełnienia zbiorników podlegają wzorcowaniu. Głównymi odbiorcami tych usług są stacje paliw. Tego typu pomiary wykonujemy jako jedyni w terenowej administracji miar i obydwie opisane niżej stanowiska pomiarowe posiadają akredytację Polskiego Centrum Akredytacji.

2. WZORCOWANIE MIERNIKÓW NA MASZYNIE DŁUGOŚCIOWEJ

Pierwsze stanowisko stanowi maszyna pomiarowa 1-D Carl Zeiss Jena (Rys. 1). Wzorcowane są na niej mierniki do pomiaru poziomu wysokości napełnienia zbiorników o zakresie pomiarowym do 3,18 m o wartości działki elementarnej 0,001mm, 0,01 mm oraz 0,1 mm. Stanowisko pomiarowe znajduje się w pomieszczeniu klimatyzowanym. Jest to maszyna z optycznym układem odczytu. Wzorcowanie mierników odbywa się w środowisku suchym w układzie poziomym i obejmuje wyznaczenie dopuszczalnych błędów wskazań, maksymalnej różnicy między wskazaniami mierzonymi w jednym kierunku działania, progu rozruchu oraz histerezy.

Wzorcem odniesienia jest maszyna pomiarowa 1-D produkcji Carl Zeiss Jena. W celu zapewnienia właściwych warunków środowiskowych mierniki są wcześniej przechowywane w temperaturze, w której przeprowadzane będzie wzorcowanie. Na maszynie pomiarowej wzorcowane są mierniki zawierające jeden lub dwa detektory (pływaki). Elementem przesuwym jest wózek, na którym zamocowany jest detektor (w sposób uniemożliwiający zmianę jego położenia względem wózka) symulujący poziom cieczy w zbiorniku. Miernik podłącza się poprzez urządzenie wskazujące. Wyniki odczytywane są równocześnie z maszyny pomiarowej 1-D (wzorca) jak również z urządzenia odczytowego elektronicznego (badany miernik) i zapisywane są w arkuszu kalkulacyjnym. Po zakończeniu wzorcowania klient otrzymuje dokument w postaci świadectwa wzorcowania. Pomiary wykonywane są zgodnie z instrukcją wzorcowania. Oprócz wyników na świadectwie wzorcowania podaje się również niepewność pomiaru.



Rys. 1 Widok maszyny pomiarowej 1-D Carl Zeiss Jena; Rys. 2. Widok stanowiska pomiarowego własnej konstrukcji
 Fig. 1. View of the 1-D Carl Zeiss Jena measuring instrument; Fig. 2. View of the self-construction measuring setup

3. WZORCOWANIE MIERNIKÓW DO POMIARU POZIOMU WYSOKOŚCI NAPEŁNIENIA ZBIORNIKÓW NA STANOWISKU WŁASNEJ KONSTRUKCJI

Stanowisko to jest natomiast nową oryginalną konstrukcją własną (Rys. 2), z odczytem elektronicznym i zwiększonym zakresem, na którym mogą być wzorcowane mierniki o większych długościach w zakresie do 4,7 m. Powstało ono na skutek zapotrzebowania przez klientów na usługi wzorcowania mierników o długościach większych niż 3,18 m stosowanych w zbiornikach.

Stanowisko zbudowane jest na konstrukcji z profili aluminiowych. Na profilach tych zamontowano prowadnice stalowe, na których może poruszać się wózek z zamontowanym detektorem (pływakiem). Stanowisko posiada odczyt elektroniczny. Do wózka zamontowany został czytnik, który odbiera impulsy z inkrementalnego wzorca firmy Renishaw przymocowanego do stanowiska pomiarowego na całej jego długości. Na stanowisku pomiarowym wyznacza się te same parametry mierników, co na maszynie pomiarowej. Ze względu na lekką konstrukcję i konieczność zapewnienia jej stabilności, stanowisko pomiarowe obciążono płytami granitowymi.

4. WYZNACZANIE NIEPEWNOŚCI POMIARÓW

Błędem wskazania miernika w danym punkcie zakresu pomiarowego jest różnica między długością odcinka pomiarowego wyznaczonego przez miernik, a długością odcinka zadanego przez maszynę pomiarową.

Równanie pomiaru:

$$E_x = l_{ix} - l_m + l_n \bar{\alpha} \delta t + 2\delta l_x + 2\delta l_m + 2\delta l_{bm} \quad (1)$$

gdzie: E_x - błąd wskazania miernika, l_{ix} - długość odcinka pomiarowego wyznaczonego przez miernik (różnica wskazań pomiędzy danym punktem a punktem przyjętym za początkowy „zerowy”), l_m - długość odcinka pomiarowego zadanego za pomocą stanowiska pomiarowego (różnica wskazań pomiędzy danym punktem a punktem przyjętym za początkowy „zerowy”), l_n - długość nominalna odcinka pomiarowego, $\bar{\alpha} = \frac{\alpha_s + \alpha_m}{2}$ - średni temperaturowy współczynnik rozszerzalności miernika, a stanowiskiem pomiarowym, $\delta t = t_s - t_m$ - różnica temperatur między miernikiem, a stanowiskiem pomiarowym, δl_x - poprawka na rozdzielczość miernika, δl_m - poprawka na rozdzielczość stanowiska pomiarowego, δl_{bm} - poprawka związana z błędami wskazań stanowiska pomiarowego oraz niepewnością ich wyznaczenia.

Równanie niepewności pomiaru:

$$u(E_x) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(l_{ix}) + c_2^2 u_2^2(l_m) + c_3^2 u_3^2(\delta t) + 2c_4^2 u_4^2(\delta l_{ix}) + 2c_5^2 u_5^2(\delta l_m) + 2c_6^2 u_6^2(\delta l_{bm})}, \quad (2)$$

gdzie $c_1 = 1$; $c_2 = -1$; $c_3 = l_n \bar{\alpha}$; $c_4 = 1$; $c_5 = 1$; $c_6 = 1$;

Odchylenie standardowe wyznaczamy z sześciu serii pomiarowych:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n (l_{ix} - \bar{l}_{jx}) \right)^2}{m(n-1)}}, \quad (3)$$

gdzie: l_{ix} - długość odcinka wyznaczonego przez miernik (różnica wskazań pomiędzy danym punktem a punktem przyjętym za początkowy „zerowy”), \bar{l}_{jx} - wartość średnia z pomiarów w j-tym punkcie pomiarowym, l_m - długość odcinka pomiarowego zadanego za pomocą stanowiska pomiarowego (różnica wskazań pomiędzy danym punktem a punktem przyjętym za początkowy „zerowy”), n - liczba pomiarów w punkcie pomiarowym, m - liczba punktów pomiarowych.

Niepewność standardową wyznaczono:

$$u_1(l_{ix}) = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Niepewności średniego współczynnika rozszerzalności cieplnej i różnicy wartości współczynników nie bierzemy pod uwagę ze względu na ich mały wpływ na niepewność wzorcowania mierników.

Przyjęto, że różnica temperatur miernika i stanowiska pomiarowego po stabilizacji będzie zawarta w granicach ± 4 °C- przyjęto rozkład prostokątny.

$$u_3(\delta t) = \frac{4^\circ \text{C}}{\sqrt{3}} = 2,31^\circ \text{C} \quad (5)$$

Składowa ze względu na rozdzielczość miernika- przyjęto rozkład błędów antymodalny V.

$$u_4(\delta l_{ix}) = \frac{w_e}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

Składowa ze względu na rozdzielczość stanowiska pomiarowego- przyjęto równomierny rozkład błędów do obliczenia niepewności standardowej.

Składowa ze względu na błędy stanowiska pomiarowego:

Niepewność $u(\delta l_{bm})$ jest wypadkową składowej związanej z błędami granicznymi stanowiska pomiarowego i składowej związanej z niepewnością ich wyznaczania. W wyniku nałożenia dwóch rozkładów (prostokątnego i normalnego) otrzymujemy rozkład trapezowy.

$$u(\delta l_m) = \sqrt{u^2(X_1) + u^2(X_2)} = \frac{\sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2}}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

gdzie: X_1 - składowa związana z błędem maszyny pomiarowej lub stanowiska pomiarowego, X_2 - składowa związana z niepewnością ich wyznaczenia.

Niepewność rozszerzona:

Współczynnik rozszerzenia wynosi $k=2$ przy poziomie ufności 95% przy przyjętym rozkładzie normalnym. Przy obliczaniu niepewności pomiaru uwzględniono maksymalną długość mierzonego miernika.

Otrzymano następujące wartości niepewności rozszerzonej:

- przy maszynie pomiarowej Carl Zeiss Jena:

$$U(E_x) = 2\sqrt{(u(l_{ix}))^2 + 0,027^2 + 0,027^2 l_n^2} \quad \text{rozdzielczość 0,01 mm}, \quad (8)$$

$$U(E_x) = 2\sqrt{(u(l_{ix}))^2 + 0,104^2 + 0,027^2 l_n^2} \quad \text{rozdzielczość } 0,1 \text{ mm}, \quad (9)$$

- przy stanowisku własnej konstrukcji:

$$U(E_x) = 2\sqrt{(u(l_{ix}))^2 + 0,023^2 + 0,027^2 l_n^2} \quad \text{rozdzielczość } 0,01 \text{ mm}, \quad (10)$$

$$U(E_x) = 2\sqrt{(u(l_{ix}))^2 + 0,102^2 + 0,027^2 l_n^2} \quad \text{rozdzielczość } 0,1 \text{ mm}. \quad (11)$$

Wynikiem pomiaru jest błąd wskazania miernika:

$$E_x \pm U(E_x) \quad (12)$$

Otrzymano przykładowe wartości błędów wskazania miernika:

- przy maszynie pomiarowej Carl Zeiss Jena:

$$\text{dł. } 2,35 \text{ m} \quad E_x = (+0,40 \pm 0,16) \text{ mm} \quad \text{rozdzielczość } 0,01 \text{ mm}$$

$$\text{dł. } 2,65 \text{ m} \quad E_x = (+0,3 \pm 0,26) \text{ mm} \quad \text{rozdzielczość } 0,1 \text{ mm}$$

- przy stanowisku własnej konstrukcji:

$$\text{dł. } 3,6 \text{ m} \quad E_x = (+0,15 \pm 0,25) \text{ mm} \quad \text{rozdzielczość } 0,01 \text{ mm}$$

$$\text{dł. } 2,35 \text{ m} \quad E_x = (-0,2 \pm 0,25) \text{ mm} \quad \text{rozdzielczość } 0,1 \text{ mm}$$

WNIOSKI

Wzorcowanie mierników na nowym stanowisku może odbywać się szybciej niż na maszynie pomiarowej 1-D ze względu na cyfrowy odczyt zarówno ze stanowiska jak również z urządzenia odczytowego. Istnieje również możliwość zminimalizowania błędów odczytu z czytnika cyfrowego w porównaniu z analogowym odczytem optycznym, co w metrologii ma decydujące znaczenie.

LITERATURA

1. Główny Urząd Miar, Wyrażanie niepewności pomiaru, GUM, 1999.
2. Jerzy Arendarski, Niepewność pomiarów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003.