

Paweł SIKORSKI

Okręgowy Urząd Miar w Łodzi, Wydział Termodynamiki

NIEPEWNOŚĆ POMIARU PRZY KONTROLI METROLOGICZNEJ WODOMIERZY

Streszczenie. W referacie przedstawiono analizę niepewności pomiarów przy kontroli metrologicznej wodomierzy w różnych obszarach działania Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi, związanych zarówno z metrologią prawną, jak i innymi wykonywanymi badaniami i wzorcowaniami wodomierzy ze szczególnym uwzględnieniem ekspertyz metrologicznych wykonywanych na własnym stanowisku pomiarowym.

Słowa kluczowe: niepewność pomiaru

UNCERTAINTY OF MEASUREMENT AT THE METROLOGICAL CONTROL OF WATER METERS

Abstract. In the paper the analysis of uncertainty of measurement at the metrological control of water meters has been presented. It concerns the different areas of functioning of the Regional Office of Measures in Lodz connected with both the legal metrology and the other examinations and calibrations of water meters. The metrological expertises carried out at the own self-made setup have been taken into special consideration.

Keywords: uncertainty of measurement

1. Wstęp

Pracownia Przepływów, która zajmuje się między innymi wyznaczaniem charakterystyk metrologicznych wodomierzy 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, a w szczególności ekspertyzy wodomierzy zaowocowały zebraniem doświadczeń związanych z badaniami wodomierzy.

2. Niepewność pomiaru przy prawnej kontroli metrologicznej wodomierzy

Legalizacja wodomierzy jako obszar prawnej kontroli metrologicznej jest wykonywana obecnie wyłącznie przez administrację miar w ponad 150 punktach legalizacyjnych mieszczących się na terenie całego kraju. Właścicielami punktów są głównie producenci wodomierzy, zakłady wodociągowe oraz zakłady naprawiające wodomierze. Zarówno zakres, jak i metody przeprowadzania sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej wodomierzy zostały ściśle określone w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 23 października 2007 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać wodomierze, oraz szczegółowego zakresu sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych (Dz. U. Nr 209, poz. 1513) [2]. W dokumencie tym, ustawodawca określił dopuszczalne maksymalne niepewności pomiaru dla poszczególnych wielkości mierzonych. Można powiedzieć, że są to najgorsze z możliwych niepewności, jakie mogą charakteryzować stanowiska pomiarowe (metody pomiarowe) stosowane do legalizacji wodomierzy. Oceny zdolności pomiarowych stanowisk dokonuje Prezes Głównego Urzędu Miar lub wskazany przez Niego podmiot. Dokumentem potwierdzającym spełnienie wymagań w tym zakresie jest świadectwo ekspertyzy. Wszystkie zastosowane przyrządy w ww. stanowiskach powinny

posiadać aktualne świadectwa wzorcowania zgodnie z przyjętymi harmonogramami. Wymagania powyższe w sposób uporządkowany zawiera Tabela 1.

Okręgowy Urząd Miar w Łodzi jako podmiot upoważniony wykonuje od wielu lat ekspertyzy stanowisk pomiarowych na terenie całego kraju. Zaobserwowano duży postęp techniczny w tym obszarze. Wzrasta liczba stanowisk z nowoczesnymi metodami pomiarowymi. Właściciele punktów legalizacyjnych spełniając wymagania prawne dążą do poprawy najlepszych możliwości pomiarowych stosowanych przez siebie metod przy legalizacji wodomierzy

Analizując przedstawione wartości można stwierdzić, że wymagania dotyczące toku postępowania przy prawnej kontroli metrologicznej wodomierzy określone są w sposób precyzyjny i kompleksowy. Zarówno warunki środowiskowe, w jakich dokonuje się badania, jak i możliwe dopuszczalne błędy graniczne oraz maksymalne niepewności pomiaru pozwalają na jednoznaczną interpretację uzyskiwanych wyników.

Przedstawione zapisy w tabeli nr 1 dotyczące pomiarów ciśnienia zasilania stołu pomiarowego dla wodomierzy do wody zimnej działających na zasadach mechanicznych oraz wytrzymałości na ciśnienie wodomierzy przeznaczonych

do ciepłą wodę odnoszą się do wodomierzy, którym został nadany znak zatwierdzenia typu EWG. Dla warunków sprawdzenia dotyczących wodomierzy przeznaczonych do wody ciepłej wymagane jest sprawdzenie wodą o zakresie temperatur (45÷55) °C, chyba, że w decyzji zatwierdzenia typu dopuszczono możliwość sprawdzenia wodomierza podczas legalizacji wodą zimną, wówczas sprawdzenie należy wykonać wodą o temperaturze (10÷30) °C, stosując wartości błędów granicznych dopuszczalnych określonych dla wodomierzy do wody zimnej

Podczas legalizacji wodomierze powinny być sprawdzane na stanowiskach pomiarowych, w których stosuje się metodę sprawdzenia „z ruchomym startem i stopem”, gdzie przed rozpoczęciem pomiaru i po jego zakończeniu woda dopływa do wzorca pomiarowego i przepływa przez sprawdzany wodomierz żądanym strumieniem objętości, wyjątek stanowią wodomierze stosowane do wody zimnej lub ciepłej działające

na zasadach mechanicznych, do sprawdzania, których można stosować metodę sprawdzenia „z zatrzymanym startem i stopem”, gdzie do chwili rozpoczęcia pomiaru i po jego zakończeniu woda nie dopływa do przyrządu wzorcowego i przepływa przez badany wodomierz.

instalacyjnych.

3. Charakterystyka stanowiska pomiarowego do sprawdzania wodomierzy w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi

Tabela 1. Zestawienie wymagań dotyczących niepewności pomiaru przy prawnej kontroli metrologicznej wodomierzy
Table 1. Breakdown of requirements concerning the uncertainty of measurement at the legal metrological control of water meters

Wielkość mierzona	Rodzaj pomiaru	Warunki sprawdzenia		Niepewność pomiaru
Temperatura	Temperatura zasilania wody	Woda zimna - (10÷30) °C	Dopuszczalna zmiana temperatury wody w trakcie pomiaru - 5 °C	Maksymalna niepewność rozszerzona pomiaru temperatury wody, przy współczynniku rozszerzenia k=2, nie powinna przekraczać 1 °C
		Woda ciepła - (45÷55) °C		
Ciśnienie	Ciśnienie zasilania stołu pomiarowego	Nie określono		Maksymalna niepewność rozszerzona pomiaru ciśnienia wody, przy współczynniku rozszerzenia k=2, nie powinna przekraczać 5 % wartości mierzonej
	Strata ciśnienia na wodomierzu przy Q_{max}	Zgodnie z ZT		
	Wytrzymałość wodomierza na ciśnienie	1,6 razy większe od górnego ciśnienia granicznego zadanego przez 1 minutę		
Objętość	Objętość wody wyznaczona przez wzorzec lub wzorce zastosowane w stanowisku	* $Q_1 \leq Q < Q_2$ albo $Q_{min} \leq Q < Q_t$ albo $q_{min} \leq q < q_t$; E ≤ 5 %		Maksymalna niepewność rozszerzona wyznaczenia wartości poprawnej objętości wody przepływającej przez wodomierz, podczas sprawdzania wodomierzy, przy współczynniku rozszerzenia k=2, nie powinna przekraczać 1/5 właściwego błędu granicznego dopuszczalnego
		* $Q_2 \leq Q < Q_4$ albo $Q_t \leq Q < Q_{max}$ albo $q_t \leq q < q_s$ **E ≤ 3 % dla wodomierzy (30÷90) °C E ≤ 2 % dla wodomierzy do 30 °C		
	Objętość wody wskazana przez wodomierz	$Q_1 \leq Q < Q_4$ albo $Q_{min} \leq Q < Q_{max}$ albo $q_{min} \leq q < q_s$		Maksymalna niepewność rozszerzona odczytu objętości wody wskazanej przez wodomierz podczas pojedynczego pomiaru, przy współczynniku k=2, nie powinna przekraczać ±0,5 % wartości mierzonej
Warunki środowiskowe dla pojedynczego pomiaru	Temperatura otoczenia	(15 ÷ 25) °C oraz dopuszczalne zmiany $\Delta t_t \leq 5$ °C		Nie określono
	Wilgotność względna	(45 ÷ 75) % oraz dopuszczalne zmiany $\Delta rH_t \leq 10$ %		
	Ciśnienie atmosferyczne	(86 ÷ 106) kPa		

* Q_1 , Q_{min} , q_{min} , minimalny strumień objętości, powyżej którego wskazania wodomierza nie powinny przekraczać błędów granicznych dopuszczalnych,

* Q_2 , Q_t , q_t - pośredni strumień objętości, który dzieli zakres obciążeń na przedział górny i dolny zakresu obciążeń, przy którym błąd graniczny dopuszczalny zmienia wartość,

* Q_4 , Q_{max} , q_s - największy strumień objętości, przy którym wodomierz może pracować w krótkim czasie bez uszkodzenia i przekraczania błędów granicznych,

**E - graniczny dopuszczalny błąd przy legalizacji.

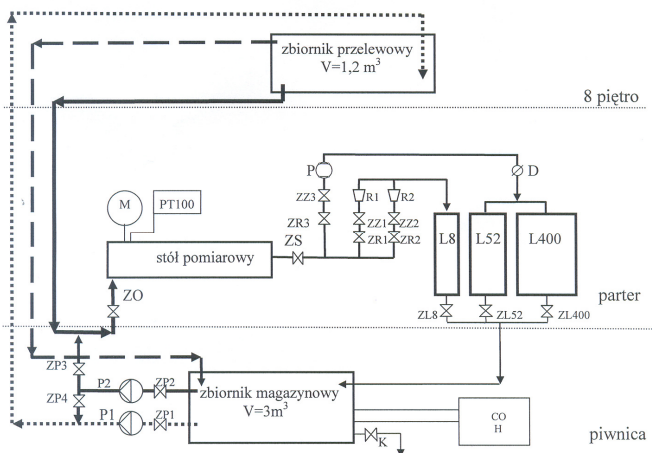
Spełnienie prezentowanych wymagań pociąga za sobą konieczność wyposażenia stanowisk do sprawdzania wodomierzy w przyrządy pomiarowe o odpowiednich parametrach technicznych, dostosowanych do rodzaju sprawdzanych obiektów. Ważną sprawą jest również rozpoznanie wymagań producentów poszczególnych typów i rodzajów wodomierzy dotyczących warunków

W 2008 r. w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi uruchomiono (jako jedyne w terenowej administracji miar) stanowisko pomiarowe do sprawdzania wodomierzy. Powstanie takiego stanowiska to efekt realizacji polityki bezstronności i niezależności, jaką realizuje kierownictwo Urzędu. Charakterystykę techniczną stanowiska pomiarowego zawiera Tabela 2.

Tabela 2. Charakterystyka techniczna stanowiska pomiarowego do sprawdzania wodomierzy w OUM Łódź
Table 2. Technical profile of the measuring setup built to test the water meters in the Regional Office of Measures in Lodz

Rodzaj metody sprawdzania	Objętościowa, z „zatrzymanym startem i stopem”, ze zbiornikami pomiarowymi
Zakres pomiarowy strumienia objętości	(8÷20000) dm ³ /h
Zakres nastawy temperatury wody	(10÷30) °C
Sposób nastawy strumienia objętości	Ręcznie, dławieniowo, w oparciu o wskazania rotometrów oraz manometru elektronicznego do pomiaru ciśnienia przed krytyczną dyszą wypływową.
Przyrządy pomiarowe wchodzące w skład stanowiska gdzie: d - wartość działki elementarnej, a - możliwość odczytania części działki elementarnej	- Zbiorniki pomiarowe o pojemnościach 8 dm ³ , 55 dm ³ , 400 dm ³ , odczyty wzrokowe z listwy pomiarowej wchodzącej w skład pływowskazu cieczowego, gdzie: d=1 mm i a=0,2 - Termometr elektroniczny o zakresie pomiarowym (-20÷80) °C i d=0,1 °C, - Czasomierz elektroniczny wchodzący w skład sterownika przepływu o zakresie (1÷5400) s i d=0,01 s, - Ciśnieniomierz sprężynowy o zakresie (0÷0,6) MPa i (0÷1,6) MPa kl. 0,6.
Rodzaj źródła zasilania	Bezpośrednie zasilanie ze zbiornika grawitacyjnego lub pomp, z zamkniętym obiegiem wody
Sposób pomiaru czasu przepływu objętości	Moment rozpoczęcia i zakończenia przepływu objętości wystawienie przez jest przez programator czasu przepływu „sygnału start” oraz „sygnału stop” sterującego otwarciem i zamknięciem zaworu stopowego na odpływie odcinka pomiarowego.

Analizując charakterystykę techniczną stanowiska na szczególną uwagę zasługuje możliwość badania wodomierzy w trzech podstawowych strumieniach objętości (Q_1, Q_2, Q_3) za pomocą grawitacyjnego układu zasilania. Linie łączące zbiornik przelewowy z układem zasilania oraz stołem pomiarowym zainstalowano w budynku, co minimalizuje negatywny wpływ warunków zewnętrznych na temperaturę wody sprawdzanych obiektów. Schemat obiegu wody w stanowisku pomiarowym do sprawdzania wodomierzy w OUM w Łodzi przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat obiegu wody w stanowisku pomiarowym do sprawdzania wodomierzy w OUM w Łodzi

Fig. 1. Scheme of the water circulation at the setup for testing the water meters in the Regional Office of Measures in Lodz

Układ pomp obiegowych (P_1, P_2) zasilających zbiornik przelewowy umożliwi również wykonanie innych badań takich jak np. wytrzymałość wodomierzy na ciśnienie lub wpływ ciśnienia na charakterystykę metrologiczną wodomierzy. Zbiornik magazynowy połączono z układem grzania i chłodzenia wody w zakresie temperatur ($10 \div 30$) °C. Zawór stopowy (startowy) ZS zainstalowany na wyjściu stołu pomiarowego sprzężony jest z torem pomiaru czasu.

Tabela 3. Wyniki badań wodomierzy w OUM w Łodzi

Table 3. Results of tests of water meters in the Regional Office of Measures in Lodz

Producent	X1 cecha (PL) [%]	X2 cecha (PL) [%]	Xn cecha (PL) [%]	Legalizacja WE wykonana w RP [%]	Legalizacja WE wykonana w UE [%]
Wodomierze w błędzie legalizacyjnym	47	42	45	52	58
Wodomierze w błędzie obiegowym w użytkowaniu	41	36	37	34	29
Wodomierze przekraczające błędy obiegowe	12	22	18	14	13
Brak ważnych dowodów kontroli metrologicznych - udział dla danej opcji	22	11	18	1,6	0,5
Udział w ogólnej ilości wykonanych ekspertyz dla danej opcji	13	15	23	15	33

Główne zalety stanowiska to:

- brak zaburzeń (pulsacji) występujących w stanowiskach wyposażonych w pompowe układy zasilania oddziaływające na sprawdzane wodomierze,
- uniemożliwienie zapowietrzenia odcinka dolotowego do stołu pomiarowego,
- zagwarantowanie stałego ciśnienia zasilania,
- brak wzajemnego oddziaływania między sprawdzanymi wodomierzami,
- stabilizacja temperatury wody zasilającej stanowisko.

Obszary techniczne stanowiska będące przedmiotem doskonalenia w następnych latach to:

- możliwość badań wodomierzy i liczników do wody wodą ciepłą ($45 \div 55$) °C,
- uruchomienie badań o kolejne rodzaje metod sprawdzania (ruchomy start i stop, metoda masowa),
- poszerzenie możliwości odczytu badanych obiektów za pomocą głowicy optoelektronicznej oraz możliwość sczytywania sygnałów impulsowych i częstotliwościowych,
- analiza zmian bieżącego strumienia objętości za pomocą przepływomierzy kontrolnych,
- wizualizacja oraz archiwizacja za pomocą systemu informatycznego procesów takich jak: wskazania badanych wodomierzy, wskazania zastosowanych w stanowisku przyrządów pomiarowych.

4. Analiza wyników badanych wodomierzy

Wyniki badań wodomierzy przedstawiono na przykładzie wykonywanych ekspertyz tych przyrządów. Należy, zatem pamiętać, iż najczęstszym przypadkiem zgłoszenia do ekspertyzy wodomierza jest przypuszczenie jednej ze stron rozliczenia wody o niespełnieniu wymagań dotyczących ich wskazań. Przebadano blisko 1000 wodomierzy. Uzyskane wyniki zamieszczone w Tabeli 3 pozwoliły na przedstawienie zmian charakterystyk metrologicznych wodomierzy podczas pięcioletniego okresu użytkowania w sieci.

Przyjęte oznaczenia w Tabeli 3 zawierają informacje:

- X1 i X2: najwięksi producenci wodomierzy w kraju,
- Xn: pozostali producenci,
- cecha (PL): legalizacja krajowa,
- legalizacja WE: legalizacja na podstawie zatwierdzenia typu EWG z podziałem na wykonaną w PL i UE.

Analiza wyników potwierdza, iż przy obecnym trendzie rynku (cena jako główny element przetargowy) pięcioletni okres ważności dowodów prawnej kontroli metrologicznej wodomierzy jest prawdopodobnie zbyt długi. Tylko około 50% wszystkich wodomierzy w poszczególnych grupach mieściło się w granicznych błędach legalizacyjnych, a więc potwierdziło zdolności pomiarowe uzyskane podczas legalizacji. Stosunkowo duża liczba badanych wodomierzy nieposiadających ważnych dowodów prawnej kontroli metrologicznej jest wynikiem zgłaszania wodomierzy

do ekspertyz po ich demontażu na koniec okresu ich ważności na sieci.

W szerszym kontekście dowodzi to o konieczności okresowego potwierdzania zdolności pomiarowych stosowanych wzorców i przyrządów pomiarowych w wykonywanych badaniach i wzorcowaniach.

5. Analiza elementów składowych budżetu niepewności przy badaniu i wzorcowaniu wodomierzy na stanowisku w OUM w Łodzi

W analizie elementów składowych budżetu niepewności przy wzorcowaniu wodomierzy oparto się głównie na przewodniku EA-4/02 [1] oraz przedstawionym w nim przykładzie S12.

Przyjęto następujące założenia przy wzorcowaniu wodomierzy i innych liczników do wody na stanowisku pomiarowym w OUM w Łodzi:

1. Dla badanego obiektu: wskazania i jego rozdzielczość: (V_x , δV_{ix1} , δV_{ix2} , $\Delta V_{ix} = V_{ix2} - V_{ix1}$), gdzie:
 - dla odczytów wzrokowych wielkość działki elementarnej d z możliwością interpolacji a (na ogół $1/5 d$ lub $1/2 d$),
 - dla obiektu z elektrycznym sygnałem - wartość jednego impulsu $V_{x\min} = 400 d$, temperatura wody (t_x , α_w), powtarzalność wodomierza (e_{xav} , δe_x , e_x).

3. Wyrażenie Niepewności pomiaru. Przewodnik. Główny Urząd Miar, Warszawa 1999.

4. Międzynarodowe zalecenie OIML R 49-1 „Water meters intended for the metering of cold potable water and hot water. Part 1: Metrological and technical requirements”, Edition 2006 (E).

5. Międzynarodowe zalecenie OIML R 49-2 „Water meters intended for the metering of cold potable water and hot water. Part 2: Test methods”, Edition 2006 (E).

6. Międzynarodowe zalecenie OIML R 49-3 „Water meters intended for the metering of cold potable water and hot water. Part 3: Test Report Format”, Edition 2006 (E).

Tabela 4. Najlepsze możliwości pomiarowe dla stanowiska do sprawdzania wodomierzy w OUM w Łodzi

Table 4. The best measuring possibilities of the setup built to test the water meters in the Regional Office of Measures in Lodz

Wielkość mierzona		Najlepsza możliwość pomiarowa	
		Dawka min (dla 500 d wskazań płynowskazu)	Dawka max (dla max wypełnienia zbiornika)
Wyznaczenie objętości poprawnej	Zbiornik L8	0,15 %	0,09 %
	Zbiornik L52	0,16 %	0,10 %
	Zbiornik L400	0,17 %	0,09 %
Pomiar temperatury wody		0,20 %	
Pomiar ciśnienia zasilania		0,75 %	
Pomiar czasu		0,10 %	

2. Dla zbiorników pomiarowych: wskazania i jego rozdzielczość (V_{is} , δV_{is}), gdzie:

- $V_{is\min} = 500 d$, gdzie d - wartość działki elementarnej przymiaru płynowskazu,
- temperatura wody w zbiornikach pomiarowych (t_{is}),
- temperatura odniesienia, w której zostały wywzorcowane zbiorniki pomiarowe (t_0),
- dla wyznaczenia różnicy ciśnienia wody między sprawdzanym wodomierzem, a zbiornikiem pomiarowym: $\kappa_w = 0,46 \cdot 10^{-6} \text{ kPa}^{-1}$, p_s , $p_x = 250 \text{ kPa}$.

Badania na stanowisku wykazały pełną stabilność strumienia objętości oraz niewielkie chwilowe zmiany strumienia przy sprawdzaniu wodomierzy w zakresie ($10 \div 20$) m^3/h . Maksymalne zmiany temperatury wody doprowadzanej do stołu pomiarowego podczas pojedynczego pomiaru nie przekraczają $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ przy różnicy temperatur między wodą w zbiornikach pomiarowych, a sprawdzanymi wodomierzami $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

W Tabeli 4 przedstawiono najlepsze możliwości pomiarowe na stanowisku do sprawdzania wodomierzy w OUM Łódź.

Analiza szacowania niepewności przy badaniach wodomierzy za zgodność z wymaganiami na stanowisku pomiarowym w OUM w Łodzi wykazała wysoką jakość wykonywanych ekspertyz. Doskonalenie tego obszaru, a więc polepszanie najlepszej możliwości pomiarowej skutkuje zwiększaniem pewności, iż wydawane w świadectwach ekspertyzy orzeczenia o dopuszczeniu lub nie do dalszego stosowania przedstawionych do badań wodomierzy są prawidłowe.

Literatura

1. EA-4/02, Wyrażenie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu. Główny Urząd Miar, Warszawa 2001.
2. Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 23 października 2007 r. w sprawie wymagań metrologicznych, którym powinny odpowiadać wodomierze oraz szczegółowego zakresu sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych (Dz. U. Nr 209, poz. 1513).

Autor: mgr inż. Paweł Sikorski, Wydział Termodynamiki, Okręgowy Urząd Miar w Łodzi, ul. Narutowicza 75, 90-132 Łódź, E-mail: oum.lodz.w2@gum.gov.pl;