

Dopuszczalne granice niepewności wyznaczania parametrów przepływu przy szeregowym sprawdzaniu wodomierzy

Wiesław Gosk

1. Wstęp

Szeregowe sprawdzanie wodomierzy było i jest powszechnie spotykaną praktyką stosowaną podczas legalizacji tych przyrządów. Po wprowadzeniu dyrektywy MID [1] i oceny zgodności wodomierzy praktyka ta została utrzymana. Pojawiły się jednak nowe aspekty: wprowadzono obowiązkowo sprawdzanie wodomierzy do wody podgrzanej wodą ciepłą i szerokie granice nastaw ciśnienia przepływu. W referacie przeanalizowano to, czy można i pod jakimi warunkami prowadzić sprawdzanie szeregowo zamontowanych wodomierzy w tak określonych warunkach przepływu.

2. Wymagania dotyczące parametrów przepływu stosowane podczas sprawdzania wodomierzy w ramach legalizacji i oceny zgodności

W tabeli 1 przedstawiono wartości temperatury pomiarowej t_N i tolerancje jej nastaw, granice nastaw ciśnienia pomiarowego p_N , dopuszczalne niepewności rozszerzone pomiaru tych parametrów i dopuszczalną niepewność rozszerzoną wyznaczania objętości przepływu $W(V_c)_{\text{dop}}$.

Tabela 1. Wymagania dotyczące temperatury, ciśnienia i objętości przepływu [2]

Q_N	t_N	$\Delta t_{N1\text{dop}}$	$\Delta t_{N2\text{dop}}$	$U(t)_{\text{dop}}$	p_N	$W(p)_{\text{dop}}$	E_N	$W(V_c)_{\text{dop}} = 1/5E_N$
Q(3)	50 °C	5 °C	5 °C	1 °C	mAP ÷ MAP	5 %	3 %	0,6 %
Q(2)	50 °C	5 °C	5 °C	1 °C	mAP ÷ MAP	5 %	3 %	0,6 %
Q(1)	50 °C	5 °C	5 °C	1 °C	mAP ÷ MAP	5 %	5 %	1,0 %

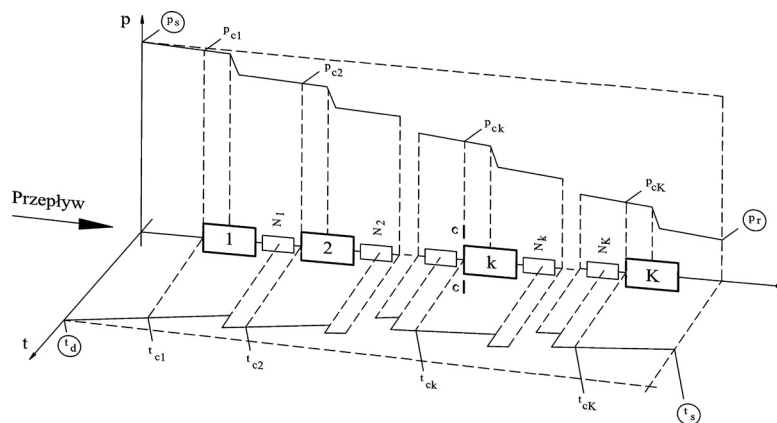
Parametry wyspecyfikowano w zależności od strumieni pomiarowych odpowiadających: nominalnemu Q(3), pośredniemu Q(2) i minimalnemu Q(1) sprawdzanych wodomierzy.

3. Parametry przepływu przy szeregowym sprawdzaniu wodomierzy

3.1. Rozkład ciśnienia i temperatury przepływu w odcinku pomiarowym

Na rys. 1 przedstawiono przykładowe rozkłady temperatury i ciśnienia przepływu w odcinku pomiarowym złożonym z K szeregowo zamontowanych wodomierzy i wypo-

szonym w K nagrzewnic. W stanowiskach pomiarowych do sprawdzania wodomierzy wodą ciepłą, z podgrzewanym odcinkiem pomiarowym, możliwy jest, z przyczyn technicznych, każdy – w granicach dopuszczalnych nastaw temperatury – rozkład $t(l)$ temperatury przepływu. W rozkładzie $p(l)$ ciśnień przepływu ze względu na straty ciśnienia, $p_{ck} > p_{c(k+1)}$ ($k = 1, 2, \dots, K-1$), ale w przekroju odniesienia k -tego obiektu możliwa jest każda jego wartość z zakresu dopuszczalnych nastaw.



Rys. 1. Rozkład temperatury i ciśnienia przepływu w odcinku pomiarowym

3.2. Aproksymacja rozkładów ciśnienia i temperatury – rozkłady brzegowe

Przedstawione w tabeli 1 wymagania dotyczące parametrów przepływu odnoszą się do każdego z szeregowo zamontowanych obiektów z osobna. Wartości tych parametrów dla k -tego obiektu powinny być mierzone w jego przekroju odniesienia „c-c” (rys. 1). Przeprowadzenie pomiarów ciśnienia i temperatury przepływu w przekroju odniesienia każdego obiektu wiąże się z licznymi trudnościami natury praktycznej. Dlatego w miejsce pomiarów indywidualnych wartości $t_{c1}, \dots, t_{ck}, \dots, t_{cK}$ i $p_{c1}, \dots, p_{ck}, \dots, p_{cK}$ przeprowadza się pomiary temperatur t_d i t_s i ciśnień p_s i p_r odpowiednio na dopływie i odpływie odcinka pomiarowego. Powstaje wówczas problem, jak w oparciu o zmierzone t_d i t_s oraz p_s i p_r aproksymować wartości t_{ck} i p_{ck} z wystarczającą, dla rozpatrywanych celów, dokładnością.

Do dalszej analizy przyjęto model aproksymacji t_{ck} wartością t_{sr} określoną jako:

$$t_{sr} = \frac{t_d + t_s}{2} \quad (1)$$

Podobnie w przypadku ciśnień przepływu przyjęto aproksymację p_{ck} wartością p_{sr} :

$$p_{sr} = \frac{p_s + p_r}{2} \quad (2)$$

Parametry przepływu t_{ck} i p_{ck} dla przyjętych modeli (1) i (2) aproksymacji określa się jako:

$$t_{ck} = t_{sr} + e_a(t_{ck}) \quad p_{ck} = p_{sr} + e_a(p_{ck}) \quad (3)$$

gdzie:

$e_a(t_{ck})$ – błąd aproksymacji temperatury t_{ck} w modelu (1),

$e_a(p_{ck})$ – błąd aproksymacji ciśnienia p_{ck} w modelu (2).

Niech $t_{e1} = t_d$, $t_{eK} = t_s$, $p_{e1} = p_s$, $p_{eK} = p_r$, a rozkłady $t(l)$ i $p(l)$ będą takie, że:

$$|t_{e1} - t_{eK}| = \Delta t_{N1dop} + \Delta t_{N2dop} \quad (4)$$

$$p_{e1} = MAP, \quad p_{eK} = mAP_1 \quad (5)$$

Wówczas w oparciu o (3), dla dopuszczalnych nastaw ciśnienia i temperatury wg tabeli 1, błędy aproksymacji t_{ck} i p_{ck} będą zawarte odpowiednio w przedziałach:

$$e_a(t_{ck}) \in [-\Delta t_{N2dop}, \Delta t_{N1dop}] \quad k = 1, 2, \dots, k, \dots, K \quad (6)$$

$$e_a(p_{ck}) \in [-1/2(MAP - mAP_1), 1/2(MAP - mAP_1)] \quad k = 1, 2, \dots, k, \dots, K \quad (7)$$

Założeniem (4) i (5) określono odpowiednio rozkład brzegowy temperatury przepływu i ciśnienia przepływu w odcinku pomiarowym. Błędy aproksymacji $e_a(t_{ck})$ i $e_a(p_{ck})$ w tych rozkładach są zmiennymi losowymi o rozkładach prostokątnych z granicami odpowiednio (6) i (7).

3.3. Gęstość i objętość przepływu w odcinku pomiarowym

Dla k -tego obiektu gęstości wody obiegowej $\rho_r(t_{ck}, p_{ck})$ jest wyznaczana w oparciu o gęstość wody destylowanej $\rho_d(t_{ck}, p_{ck})$ z zależności:

$$\rho_r(t_{ck}, p_{ck}) = \lambda \cdot \rho_d(t_{ck}, p_{ck}) \quad (8)$$

Wartości λ wyznacza się w warunkach odniesienia t_{od} , p_{at} przyjmując zgodnie z [3], że $\lambda(t_{od}, p_{at}) = \lambda(t_{ck}, p_{ck})$. Zakładając, że ciśnienie atmosferyczne $p_{at} = 1,013$ bar można, w oparciu o [4], dla k -tego obiektu określić:

$$\rho_d(t_{ck}, p_{ck}) = WK(t_{ck})[1 + WT(t_{ck}) \cdot p_{ck}] \quad k = 1, 2, \dots, k, \dots, K \quad (9)$$

gdzie:

$WK(t_{ck})$ – wielomian Kella ujmujący zależność gęstości wody destylowanej od temperatury,
 $WT(t_{ck})$ – wielomian Tanaki dla wyznaczania współczynnika ściśliwości wody w zależności od temperatury.

W metodzie masowej z „zatrzymanym startem i stopem” wartość V_{ck} objętości, która przepłynęła przez przekrój odniesienia k -tego obiektu, wyznacza się z zależności:

$$V_{ck} = \frac{m \cdot c_1}{\rho_r(t_{ck}, p_{ck})} \quad k = 1, 2, \dots, k, \dots, K \quad (10)$$

gdzie:

m – masa przepływu wskazania przez wagę,
 c_1 – współczynnik wyporu.

4. Analiza niepewności wyznaczania objętości przepływu

Funkcję pomiaru objętości przepływu V_{ck} stanowi (10), w której uwzględniono (8) i (9). Gęstość wody obiegowej zmierzono w temperaturze odniesienia $t_{od} = 20$ °C. Przyjęto granice rozkładu brzegowego ciśnienia i temperatury przepływu wg tabeli 1, przy założeniu $MAP = 1,6$ MPa i $mAP_1 = 0,09$ MPa (wodomierz klasy ciśnieniowej MAP16). W tych warunkach w oparciu o (9), z uwzględnieniem (3) jako konsekwencji przyjęcia modeli (1) i (2), oszacowano niepewność wyznaczania gęstości $\rho_d(t_{ck}, p_{ck})$. Niepewność standardową pozostałych wielkości wejściowych oszacowano z praktyki. Zbudowano budżet względnej niepewności wyznaczania V_{ck} (tabela 2).

Tabela 2. Budżet wyznaczania niepewności wyznaczania objętości przepływającej przez k -ty przekrój odniesienia

Lp.	Symbol wielkości	Estymata wielkości		Niepewność standardowa		
	X_i	x_i	j.m.	$u(x_i)$	j.m.	$u(x_i)/x_i \cdot 100$ %
1	m	m	kg	$2,9 \cdot 10^{-2}$	kg	0,241 %
2	c_1	1,00103	-	$0,14 \cdot 10^{-3}$	-	0,014 %
3	$\rho_d(t_{od})$	998,20	kg/m ³	$0,289 \cdot 10^{-2}$	kg/m ³	0,0003 %
4	$\rho_r(t_{od})$	998,54	kg/m ³	$5,78 \cdot 10^{-2}$	kg/m ³	0,006 %
5	$\rho_d(t_{ck}, p_{ck})$	988,03	kg/m ³	1,35	kg/m ³	0,178 %
6	V_c	(10)	m ³	$u(V_c)$	m ³	0,3 %

Budżet niepewności, w części dotyczącej składowej niepewności związanej z pomiarem masy przepływu, jest otwarty, lecz ma charakter zadaniowy, tzn. dla założonej z góry $W(V_{c\text{ dop}})$ (tabela 2) i dla przyjętej z praktyki niepewności pomiaru masy poszukiwana jest dawka pomiarowa, przy której może nastąpić jego zamknięcie. Niepewność standardową pomiaru masy przyjmuje się jako $u(m) = 2,9 \cdot 10^{-2}$ kg, co odpowiada najczęściej stosowanej, w stanowiskach do szeregowego sprawdzania wodomierzy DN 15 ÷ DN40, wadze (Max = 300 kg, 2 kl. dokładności, działka legalizacyjna $e = 50$ g).

5. Wnioski

Budżet niepewności wyznaczania V_{ck} w warunkach określonych w p. 4 zamyka się przy dawce pomiarowej 12.5 kg (12,6 dm³). Oznacza to, że niepewności wyznaczenia $\rho_d(t_{ck}, p_{ck})$, a zatem t_{ck} i p_{ck} , oszacowane w tych warunkach mogą, z metrologicznego punktu widzenia, być przyjęte. Oszacowania te należy traktować jako dopuszczalne granice. Możliwe jest więc sprawdzanie szeregowe wodomierzy z zastosowaniem założonych modeli aproksymacji rozkładów ciśnienia i temperatury nawet wówczas, gdy wartości tych parametrów osiągają granice dopuszczalnych nastaw.

Literatura

1. Dyrektywa 2004/22/WE z dnia 31 marca 2004 r. w sprawie przyrządów pomiarowych.
2. PN-EN 14154-3 Wodomierze. Część 3: *Metody i wyposażenie do badań*.
3. Batista E. and Paton R.: *The selection of water property formulae for volume and flow calibration*. Metrologia 44(2007) 453-463.