

Wiesław GOSK

OKRĘGOWY URZĄD MIAR W WARSZAWIE,
ul. Elektoralna 4/6, 00-950 Warszawa

Oszacowanie wpływu błędów synchronizacji na niepewność wyznaczania strumienia objętości metodą z „ruchomym startem i stopem”

Mgr inż. Wiesław GOSK

Absolwent Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Obecnie jest głównym specjalistą w Wydziale Nadzoru i Polityki Rynkowej Okręgowego Urzędu Miar w Warszawie. Zajmuje się dziedziną metrologii przepływów w szczególności zagadnieniami dotyczącymi budowy i badań stanowisk wzorcowych do wzorcowania przepływomierzy.



e-mail: w.gosk@gum.gov.pl

Streszczenie

W artykule przeprowadzono analizę błędów synchronizacji urządzeń przerzutowych stanowiących wyposażenie stanowisk pomiarowych do wzorcowania przepływomierzy wodą. Oszacowano wpływ tych błędów na niepewność pomiaru wzorcowego strumienia objętości oraz przedstawiono nową koncepcję ograniczenia tego wpływu. Polega ona na takiej modyfikacji znormalizowanej metody doświadczalnego wyznaczania błędów systematycznych synchronizacji aby możliwa była bieżąca kontrola zmian tego błędów w czasie.

Słowa kluczowe: metoda z „ruchomym startem i stopem”, błąd systematyczny synchronizacji urządzenia przerzutowego.

Estimation of the influence of synchronization errors on the uncertainty of determining the flow rate by flying-start-and-finish-method

Abstract

In the paper there are analyzed synchronization errors of diverters devices which are the equipment of test benches for calibration of flow meters with water. Impact of these errors on the measurement uncertainty of the reference flow rate was estimated and a new concept to reduce this impact has been presented. The analysis was performed for the diverters devices of hydraulic characteristic defined by relation (10) and kinematic characteristics expressed by (12). For such devices the theoretical systematic synchronization error (17) was determined. Based on (17) there was modified the previously used and standardized in [1] the method of experimental determination of the error in the filling time measurement (the synchronization error). Besides the error in the filling time measurement, the coefficient of dynamic deformation of flow diverter functional performance was determined. It was shown that the modification allowed current identification of the drift of the error in the filling time measurement and consequently the reduction of the uncertainty of determining the reference flow rate.

Keywords: flying - start- and - finish-method, error in the filling time measurement.

1. Wstęp

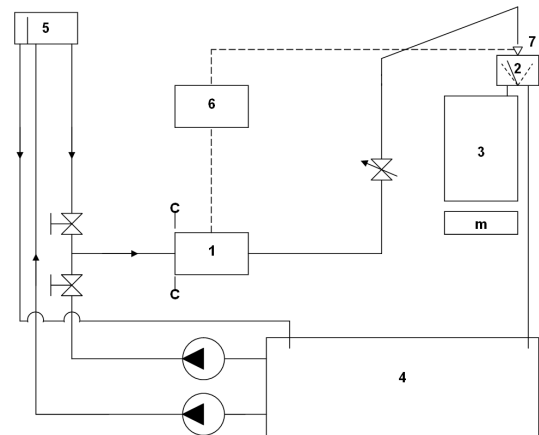
Metoda masowa z „ruchomym startem i stopem” jest znormalizowaną (np. [1]), powszechnie stosowaną metodą pomiaru wzorcowego strumienia objętości w stanowiskach do wzorcowania przepływomierzy wodą. Istotnym błędem metody jest tzw. błąd systematyczny synchronizacji. Dalsze rozważania poświęcono analizie źródeł tego błędów oraz koncepcji ograniczenia jego wpływu na niepewność wyznaczania wzorcowego strumienia objętości.

2. Pomiar strumienia objętości metodą z „ruchomym startem i stopem”

2.1. Przebieg czasowy cyklu pomiarowego

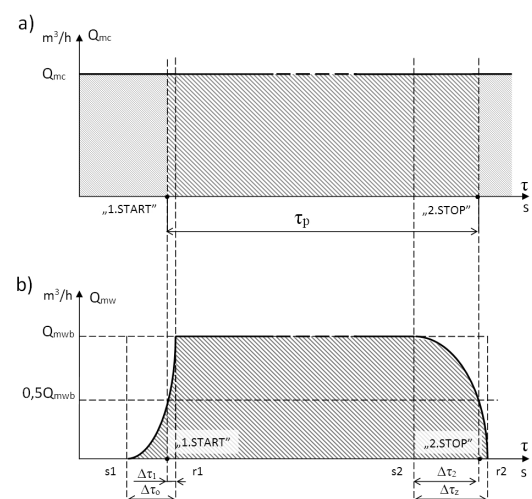
Schemat typowego stanowiska pomiarowego stosowanego do wzorcowania przepływomierzy przedstawia rys.1.

W fazie przygotowania do pomiaru woda krąży w obiegu zamkniętym przepływając z zadanim strumieniem przez przekrój odniesienia c-c przepływomierza wzorcowanego 1, z którego jest kierowana urządzeniem przerzutowym 2 na obieg wagi stanowiskowej 3 i do zbiornika magazynowego 4.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego. 1-obiekt wzorcowany, 2-urządzenie przerzutowe, 3-zbiornik wagowy, 4-zbiornik magazynowy, 5-zbiornik grawitacyjny, 6-licznik impulsów, 7-nadajnik impulsów

Fig. 1. Test bench scheme. 1-device under calibration, 2-diverter, 3-weighing tank, 4-sump, 5-constant level head tank, 6-counter, 7- pulse transmitter



Rys. 2. Cykl pomiarowy: a) strumień masy przez przekrój c-c, b) strumień masy wpływający na wagę

Fig. 2. Measuring cycle: a) mass flow rate of the cross section c-c, b) mass flow rate to weighing tank

W chwili s_1 (rys. 2b), rozpoczyna się przesterowanie strumienia wody na wagę. W chwili „1.START” wystawiany jest impuls z nadajnika impulsów 7 umieszczonego na drodze przesterowania strumienia, otwierający bramkę licznika impulsów 6, generowanych przez przepływomierz wzorcowany 1. Po przepływie żądanej dawki pomiarowej, w chwili s_2 rozpoczyna się przesterowanie strumienia wody ponownie na obieg wagi. W następującej po niej chwili „2.STOP” kończy się zliczanie impulsów z przepływomierza 1. W chwili r_2 woda przestaje dopływać do wagi.

2.2. Błędy synchronizacji

Masa przepływu m_c przez przekrój odniesienia c-c, w czasie wyznaczonym chwilami „1.START” i „2.STOP”, jest określona jako:

$$m_c = \int_{\tau_1}^{\tau_2} Q_{mc}(\tau) d\tau \quad (1)$$

gdzie: $Q_{mc}(\tau)$ – chwilowy strumień masy, τ_1 , (τ_2) – czas wyznaczony chwilą „1.START”, („2.STOP”)

Ale masa m_c w rozpatrywanej metodzie pomiaru nie jest mierzona w przekroju odniesienia c-c lecz przez pomiar masy m_w , która wpłynęła do zbiornika wagowego w czasie wyznaczonym chwilami s_1 i r_2 . Na ogół $m_c \neq m_w$. Przyczyną tej różnicy są tzw. błędy synchronizacji (systematyczne i przypadkowe) urządzenia przerzutowego. Źródłem błędów systematycznych jest sposób pozycjonowania nadajnika impulsów. Nadajnik impulsów ustawia się bowiem w połowie drogi przesterowania urządzenia przerzutowego (tzw. pozycjonowanie geometryczne) bez uwzględniania rzeczywistej charakterystyki roboczej tego urządzenia, czyli nieliniowości jego charakterystyki hydraulicznej i niesymetryczności jego napędu. Teoretycznie można sobie wyobrazić sytuację idealnej synchronizacji w ustawieniu nadajnika takiej, że:

$$m_c^* = \int_{\tau_{c1}}^{\tau_{c2}} Q_{mc}(\tau) d\tau = m_w \quad (2)$$

gdzie: m_c^* – masa przepływu przez przekrój odniesienia c-c odpowiadająca idealnej synchronizacji, τ_{c1} , (τ_{c2}) – czas, który byłby wyznaczony chwilą „1.START”, („2.STOP”) wystawienia impulsu przez nadajnik ustawiony w pozycji idealnej synchronizacji.

W praktyce, bez wiedzy o rzeczywistych charakterystykach roboczych urządzenia przerzutowego, taka synchronizacja nie jest możliwa.

Dla nieliniowych charakterystyk roboczych urządzenia przerzutowego (czyli w większości przypadków) ustawienie geometryczne nadajnika powoduje, że impuls „1.START” może być wysłany np. o $\Delta\tau_{s1}$ za późno a impuls „2.STOP” o $\Delta\tau_{s2}$ za późno w stosunku do impulsów, które byłyby wysłane z idealnie zsynchronizowanego nadajnika. Może także wystąpić rozsynchronizowanie odwrotne lub mieszane – zależy to od postaci charakterystyk roboczych urządzenia przerzutowego. Czasy $\Delta\tau_{s1}$ i $\Delta\tau_{s2}$ są składowymi błędami systematycznego synchronizacji. Jeżeli czasy τ_1 i τ_2 określone w (1) odpowiadają sytuacji geometrycznego pozycjonowania nadajnika, wówczas sumaryczny błąd systematyczny synchronizacji wyraża się jako:

$$\Delta\tau_s = (\tau_2 - \tau_1) - (\tau_{c2} - \tau_{c1}) \quad , \quad \Delta\tau_s = \Delta\tau_{s2} - \Delta\tau_{s1} \quad (3)$$

gdzie: $\Delta\tau_s$ – błąd systematyczny synchronizacji urządzenia przerzutowego.

2.3. Funkcja pomiaru strumienia masy i strumienia objętości

Średni, w przedziale czasu ($\tau_1 \div \tau_2$), strumień masy Q_{mc} przez przekrój odniesienia c-c wynosi:

$$Q_{mc} = \frac{m_c}{\tau_p} \quad , \quad \tau_p = \tau_2 - \tau_1 \quad (4)$$

gdzie: τ_p – czas przepływu dla geometrycznego ustawienia nadajnika impulsów.

Odpowiednio średni, w przedziale czasu ($\tau_{c1} \div \tau_{c2}$), strumień masy Q_{mc}^* przez przekrój odniesienia c-c można określić jako:

$$Q_{mc}^* = \frac{m_c^*}{\tau_c^*} \quad , \quad \tau_c^* = \tau_{c2} - \tau_{c1} \quad (5)$$

gdzie: τ_c^* – czas przepływu dla idealnie zsynchronizowanego nadajnika impulsów.

Można założyć, że:

$$Q_{mc} = Q_{mc}^* \quad (6)$$

Założenie (6) oznacza, że zmiana oporu hydraulicznego w urządzeniu przerzutowym podczas przesterowania przepływu nie ma wpływu na $Q_{mc}(\tau)$. Rzeczywiście, w dobrze skonstruowanych urządzeniach przerzutowych, szczególnie typu otwartego (jak na rys. 3a), wpływ ten jest znikomy.

W procesie wzorcowania przepływomierza strumień Q_{mc} jest strumieniem wzorcowym – to z nim jest porównywany strumień wskazywany przez wzorcowany przepływomierz. Uwzględniając zatem w (6) zależności (2), (3), (4) i (5) otrzymuje się funkcję pomiaru wzorcowego strumienia masy Q_{mc} w postaci:

$$Q_{mc} = \frac{m_w}{\tau_p - \Delta\tau_s} \quad (7)$$

Uzupełniając (7) o błędy przypadkowe synchronizacji można, na podstawie [2], przedstawić rozszerzoną funkcję pomiaru wzorcowego strumienia masy Q_{mc} w postaci:

$$Q_{mc} = \frac{m_w}{\tau_p - \Delta\tau_s} \left(1 + \frac{\delta\tau_{sr}}{\tau_p - \Delta\tau_s} \right) \quad (8)$$

gdzie: $\delta\tau_{sr}$ – poprawka czasu przepływu ze względu na błędy przypadkowe synchronizacji urządzenia przerzutowego.

Oczywiście strumień objętości Q_{vc} i strumień masy Q_{mc} są związane zależnością:

$$Q_{vc} = \frac{Q_{mc}}{\rho_r(t_c, p_c)} \quad (9)$$

gdzie: $\rho_r(t_c, p_c)$ – gęstość wody obiegowej o temperaturze t_c i ciśnieniu p_c , mierzonych w przekroju c – c.

3. Postać analityczna błędu systematycznego synchronizacji

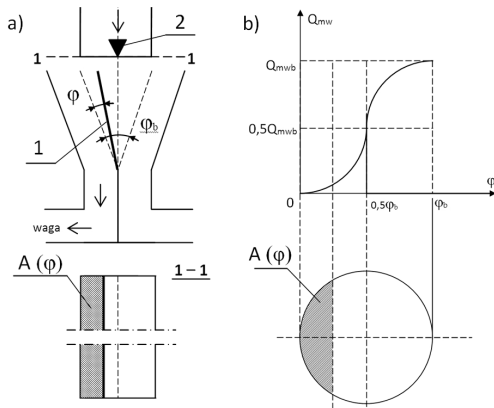
Zostanie wyprowadzona funkcja wyrażająca zależność błędu systematycznego synchronizacji od parametrów czasowych cyklu pomiarowego, dla ważnej klasy charakterystyk roboczych urządzeń przerzutowych.

Zakłada się, że charakterystyka hydrauliczna $Q_{mw1}(\varphi)$ urządzenia przerzutowego w ruchu otwarcia przepływu na wagę wykazuje następującą symetrię:

$$Q_{mw1}(\varphi) = Q_{mw}(\varphi_b) - Q_{mw1}(\varphi_b - \varphi) \quad (10)$$

gdzie: $Q_{mw1}(\varphi)$ – strumień masy przepływu na wagę dla bieżącego kąta otwarcia φ na wagę, $Q_{mw}(\varphi_b)$ – strumień masy przepływu na wagę dla maksymalnego kąta otwarcia φ_b na wagę.

Symetria (10) jest podstawowym założeniem konstrukcyjnym urządzeń przerzutowych. Przykładem charakterystyki hydraulicznej wykazującej symetrię (10) jest charakterystyka urządzenia przerzutowego z wypływem o przekroju kołowym (rys. 3b). Oczywiście warunek (10) spełnia także urządzenie przerzutowe z wypływem prostokątnym (rys. 3a), w którym pole przekroju przepływowego na wagę $A(\varphi)$ jest liniową funkcją bieżącego kąta otwarcia φ .



Rys. 3. Urządzenie przerzutowe: a) schemat urządzenia przerzutowego z wypływem prostokątnym, b) charakterystyka hydrauliczna urządzenia przerzutowego z wypływem o przekroju kołowym. 1- przegroda rozdzielająca, 2-nadajnik impulsów

Rys. 3. Diverter: a) scheme of diverter with nozzle slot, b) hydraulic characteristic of diverter with circular cross section. 1- splitter plate, 2- pulse transmitter

Należy zauważyć, że w starannie wykonanych urządzeniach przerzutowych charakterystyka hydrauliczna $Q_{mv2}(\varphi)$ w ruchu zamknięcia przepływu na wagę :

$$Q_{mv2}(\varphi) = Q_{mv1}(\varphi) \quad (11)$$

Niech charakterystyki kinematyczne napędu urządzenia przerzutowego: $\varphi_1(\tau)$ dla ruchu otwarcia przepływu na wagę i $\varphi_2(\tau)$ dla ruchu zamknięcia przepływu na wagę będą takie, że:

$$\varphi_2(\tau) = \varphi_b - \varphi_1[c(\tau - \tau_{s2}) + \tau_{s1}] \quad , \quad c = \frac{\Delta\tau_0}{\Delta\tau_z} \quad (12)$$

gdzie: $\varphi_1(\tau)$ – kąt otwarcia na wagę podczas przesterowania na wagę, $\varphi_2(\tau)$ – kąt otwarcia na wagę podczas przesterowania na obieg wagi, τ – bieżący czas przepływu, $\Delta\tau_0$ – czas przesterowania przepływu na wagę, $\Delta\tau_z$ – czas przesterowania przepływu na obieg wagi, τ_{s1}, τ_{s2} – czas wyznaczony chwilą $s_1, (s_2)$.

Założenie (12) jest spełnione przez większość napędów stosowanych w urządzeniach przerzutowych.

Charakterystyki robocze urządzenia przerzutowego: $Q_{mv1}(\tau)$ w ruchu otwarcia przepływu na wagę i $Q_{mv2}(\tau)$ w ruchu zamknięcia przepływu na wagę, dla urządzenia spełniającego (10) i (11) z napędem o charakterystyce (12), wykazują specyficzną symetrię określoną zależnością:

$$Q_{mv2}(\tau) = Q_{mv}(\varphi_b) - Q_{mv1}[c(\tau - \tau_{s2}) + \tau_{s1}] \quad (13)$$

Zależność (13) reprezentuje klasę charakterystyk roboczych urządzeń przerzutowych o szerokim, ze względu na praktyczne znaczenie, zastosowaniu. Przykładem może być charakterystyka robocza urządzenia przerzutowego z przegrodą rozdzielającą poruszającą się ruchem jednostajnie przyspieszonym (rys. 2b).

Jeżeli wprowadzi się specyficzne czasy $\Delta\tau_1$ i $\Delta\tau_2$, wyznaczone odpowiednio chwilami „1.START” i r_1 oraz s_2 i „2.STOP” cyklu pomiarowego (rys. 2b), wówczas błąd odmierzenia masy prze-

pływu w przekroju odniesienia c–c, spowodowany błędem systematycznym synchronizacji $\Delta\tau_s$, można wyrazić jako:

$$Q_{mc} \Delta\tau_s = Q_{mc}(\Delta\tau_1 + \Delta\tau_2) - \left[\int_{\tau_{r1}}^{\tau_{r1}} Q_{mv1}(\tau) d\tau + \int_{\tau_{s2}}^{\tau_{s2}} Q_{mv2}(\tau) d\tau \right] \quad (14)$$

gdzie: $\tau_{r1}, (\tau_{r2})$ – czas wyznaczony chwilą $r_1, (r_2)$.

Zakłada się przy tym, że:

$$\int_{\tau_{r1}}^{\tau_{r2}} Q_{mc}(\tau) d\tau = \int_{\tau_{r1}}^{\tau_{r2}} Q_{mv}(\tau) d\tau \quad (15)$$

Gwarancją (15) jest szczelność wewnętrzna i zewnętrzna urządzenia przerzutowego oraz całkowite wypełnienie odcinka instalacji przepływowej między przekrojem odniesienia c–c a wypływem do urządzenia przerzutowego.

Określa się następnie względną miarę a_1 dopływu masy do wagi w ruchu otwarcia przepływu na wagę jako:

$$a_1 = \frac{1}{Q_{mv}(\varphi_b) \cdot \Delta\tau_0} \int_{\tau_{r1}}^{\tau_{r1}} Q_{mv1}(\tau) d\tau \quad (16)$$

Jeżeli nadajnik impulsów jest pozycjonowany geometrycznie (tzn. w pozycji $\varphi_n = 0,5\varphi_b$, rys. 3a), wówczas błąd systematyczny synchronizacji, dla charakterystyk roboczych urządzenia przerzutowego należących do klasy (13), po uwzględnieniu w (14) miary (16), może być przedstawiony zależnością:

$$\Delta\tau_s = \left(\frac{\Delta\tau_1}{\Delta\tau_0} - a_1 \right) \cdot (\Delta\tau_0 - \Delta\tau_z) = R(\Delta\tau_0 - \Delta\tau_z) \quad (17)$$

gdzie: R – współczynnik dynamicznego zniekształcenia charakterystyki roboczej w ruchu otwarcia na wagę.

Należy zauważyć, że zgodnie z (17), w przypadku idealnie wyregulowanego napędu (tzn. gdy $\Delta\tau_0 = \Delta\tau_z$), dla dowolnej charakterystyki roboczej należącej do klasy (13) błąd systematyczny synchronizacji $\Delta\tau_s = 0$. Warto także zwrócić uwagę, że jeżeli charakterystyki robocze są liniowymi funkcjami czasu τ (czyli $R = 0$), błąd systematyczny synchronizacji także nie występuje i to niezależnie od stopnia rozregulowania $\Delta\tau_0 \neq \Delta\tau_z$ napędu.

4. Zmodyfikowana metoda doświadczalnego wyznaczanie błędu systematycznego synchronizacji

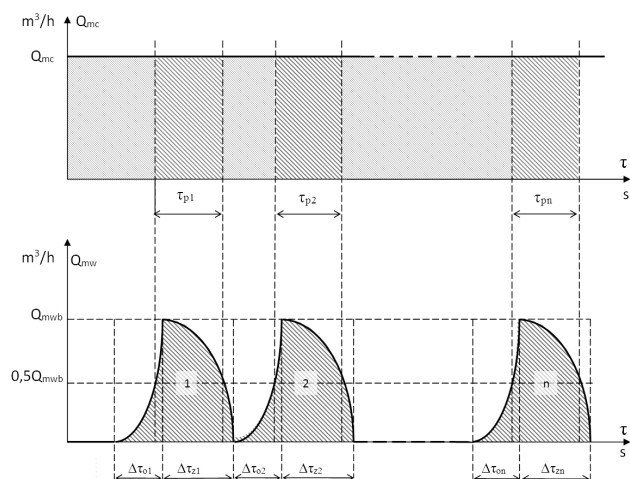
Zależność (17) pełni bardzo ważną rolę analityczną, jednak możliwość obliczania w oparciu o nią wartości błędów systematycznych synchronizacji jest ograniczona do tych nielicznych przypadków, w których znana jest postać charakterystyk (10) i (12). Dlatego błąd synchronizacji prawie zawsze wyznacza się doświadczalnie.

Na ogół przeprowadza się – oparty na Aneksie A [1] – zaawansowany eksperyment polegający na wielokrotnej realizacji cyklu otwarcia – zamknięcia przepływu na wagę (rys. 4). Taka multiplikacja, występującego przecież w każdym cyklu otwarcia – zamknięcia błędu systematycznego synchronizacji, pozwala dla długiej serii przesterowań na w miarę dokładne wyznaczenie jego wartości.

Przedstawiony wyżej eksperyment można w dość łatwy sposób zmodyfikować. Jeżeli mianowicie podczas jego rutynowego przeprowadzania oprócz pomiarów czasów τ_{pi} będzie dokonywany także pomiar czasów $\Delta\tau_{oi}$ i $\Delta\tau_{zi}$ (rys. 4), co przy przyrządowaniu współczesnych stanowisk jest w pełni wykonalne, wówczas w oparciu o (17) można oszacować współczynnik R dynamicznego zniekształcenia charakterystyki roboczej jako:

$$R_n = \frac{\Delta\tau_{sn}}{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \Delta\tau_{oi} - \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{zi} \right)} \quad (18)$$

gdzie: $\Delta\tau_{sn}$ - błąd systematyczny synchronizacji wyznaczony wg A [1] z n - cykli otwarcia - zamknięcia, $\Delta\tau_{oi}$ ($\Delta\tau_{zi}$) - czas przesterowania przepływu na wagę (na obieg wagi) dla i -tego cyklu otwarcia - zamknięcia.



Rys. 4. Wyznaczenie błędu systematycznego synchronizacji
Fig. 4. Determination of the systematic synchronization error

Wyznaczany eksperymentalnie błąd synchronizacji $\Delta\tau_{sn}$ dotyczy stanu urządzenia przerzutowego (w szczególności stanu jego napędu) w dniu badania. Ponieważ ze względów praktycznych eksperyment wykonuje się dość rzadko (nawet w cyklu kilkuletnim), należy liczyć się z tym, że wartość wyznaczonego błędu systematycznego synchronizacji $\Delta\tau_{sn}$ może być podczas eksploatacji obciążona dodatkową składową wynikającą z dryftu czasowego charakterystyki napędu. Jednak teraz, dzięki oszacowaniu (18), możliwa jest bieżąca ocena wartości $\Delta\tau_{st}$ tego błędu. W każdej bowiem chwili t , tylko poprzez pomiar $\Delta\tau_{oi}$ i $\Delta\tau_{zi}$ (i tak na ogół wykonywany przy każdym pomiarze strumienia), otrzymuje się:

$$\Delta\tau_{st} = R_n (\Delta\tau_{oi} - \Delta\tau_{zi}) \quad (19)$$

Pozwala to na bieżącą ocenę dryftu $\Delta\tau_{sD}$ wyrażonego jako:

$$\Delta\tau_{sD} = \Delta\tau_{sn} - \Delta\tau_{st} \quad (20)$$

5. Ocena wpływu błędów synchronizacji na niepewność pomiaru strumienia objętości

Ocenę wpływu błędów synchronizacji na niepewność pomiaru wzorcowego strumienia objętości Q_{vc} przeprowadzono przy założeniu, że wpływ błędu systematycznego synchronizacji $\Delta\tau_s$ będzie korygowany wyznaczoną doświadczalnie wartością $\Delta\tau_{sn}$. Jednak pozostałe wpływy związane z błędami synchronizacji nie mogą być skorygowane i są składnikami złożonej niepewności wyznaczenia Q_{vc} . Względna niepewność standardową $w(Q_{vc})$ wyznaczenia strumienia objętości Q_{vc} , przedstawioną – w celu wydzielenia tych wpływów – w formie zredukowanej, można określić jako:

$$w(Q_{vc}) = \sqrt{\sum_{x_i} \frac{u^2(x_i)}{|x_i|} + \frac{u^2(\tau_p)}{\tau_c^2} + \frac{u^2(\Delta\tau_s)}{\tau_c^2} + \frac{u^2(\delta\tau_{sr})}{\tau_c^2}} \quad (21)$$

gdzie: $u(x_i)$ – niepewności standardowe wielkości wejściowych x_i ; m_w , $\rho_r(t_c, p_c)$, $\tau_c = \tau_p - \Delta\tau_{sn}$ – skorygowany czas przepływu, $u(\tau_p)$ – niepewność standardowa pomiaru czasu τ_p , $u(\Delta\tau_s)$ – niepewność standardowa wyznaczenia $\Delta\tau_s$, $u(\delta\tau_{sr})$ – niepewność standardowa poprawki $\delta\tau_{sr}$.

Z kolei złożona niepewność standardowa $u(\Delta\tau_s)$ wyznaczenia $\Delta\tau_s$ jest określona jako:

$$u(\Delta\tau_s) = \sqrt{u^2(\Delta\tau_{sn}) + u^2(\Delta\tau_{sD})} \quad (22)$$

gdzie: $u(\Delta\tau_{sn})$ – niepewność standardowa doświadczalnego wyznaczenia $\Delta\tau_{sn}$, $u(\Delta\tau_{sD})$ – niepewność standardowa $\Delta\tau_s$ wynikająca z dryftu $\Delta\tau_{sD}$.

Realizacja coraz większych wartości wzorcowego strumienia objętości wiąże się, przy ograniczonym zakresie pomiarowym wagi (ograniczonej od góry dawce pomiarowej), ze skracaniem czasu pomiaru. Ale wówczas, zgodnie z (21), rośnie wpływ składników niepewności związanych z błędami synchronizacji. Może się wręcz okazać, jak to przedstawiono w [2], że wpływ ten ma charakter krytyczny uniemożliwiający realizację wzorcowego strumienia z zakładaną niepewnością względną. Możliwość bieżącej kontroli wartości $\Delta\tau_{st}$ nabiera w tej sytuacji szczególnego znaczenia. Jeżeli bowiem zostanie ustawiona automatyczna identyfikacja ($\Delta\tau_o - \Delta\tau_z$) na dopuszczalnym poziomie takim, że:

$$(\Delta\tau_o - \Delta\tau_z)_{dop} = \frac{1}{R_n} (\Delta\tau_{sn} \pm \Delta\tau_{sDdop}) \quad (23)$$

gdzie: $\Delta\tau_{sDdop}$ – dopuszczalny ze względu na zakładaną niepewność wyznaczenia Q_{vc} dryft błędu systematycznego, wówczas składnik niepewności $u(\Delta\tau_{sD})$ może być do pewnego stopnia ograniczony, co wpłynie na zmniejszenie niepewności wyznaczenia wzorcowego strumienia objętości.

6. Podsumowanie

Niepewność pomiaru strumienia objętości realizowanego przez najnowocześniejsze stanowiska wzorcowe osiąga obecnie poziom 0,025%. Niewątpliwie wiąże się to z doskonaleniem konstrukcji urządzeń przerzutowych [2, 3], prowadzącym do zmniejszenia błędu systematycznego synchronizacji $\Delta\tau_s$. Ale wpływ błędów synchronizacji w już istniejących konstrukcjach można także skutecznie ograniczać. Dla urządzeń przerzutowych, których charakterystyki robocze spełniają warunki symetrii (13), narzędziem tego ograniczenia jest przedstawiona powyżej zmodyfikowana metoda wyznaczenia błędu systematycznego synchronizacji.

7. Literatura

- [1] PN-EN 24185:1999 Pomiar strumienia objętości cieczy w przewodach. Metoda wagowa.
- [2] Strzelczyk F., Gosk W.: Granice możliwości pomiarowej strumienia objętości w stanowiskach wzorcowych dużych przepływów wody. PAK, vol.56, s.1298-1301, 2010.
- [3] Shimada T., Oda S., Terao Y., Takamoto M.: Development of a new diverter system for liquid flow calibration facilities. Flow Measurement and Instrumentation 14 (2003) 89-96.