

dr inż. Andrzej Sawicki
inż. Kamilla Wojda
Przemysłowy Instytut
Automatyki i Pomiarów
PIAP-Warszawa

BADANIA ŚRODOWISKOWE PRZEPLYWOMIERZA ULTRADŹWIĘKOWEGO DO KANAŁÓW OTWARTYCH

W pracy omówiono: badania środowiskowe przepływomierza ultradźwiękowego do kanałów otwartych (PU) warunki niezbędne do realizacji programu badań, prowadzenia prób i oceny wyników. Przedmiotem wypowiedzi są podstawowe problemy związane z realizacją prób środowiskowych jak i wybrane fragmenty badań, które pozwalają dokonać oceny ilościowej spotykanych błędów. Zwrócono uwagę na normy i zalecenia, niezbędne do realizacji ww. badań oraz trudności w ustaleniu podstawowych parametrów niezbędnych do oceny, a analiza statystyczna zmian błędów pozwala na pewne uogólnienia.

ENVIRONMENTAL TESTING OF ULTRASONIC FLOW-METER FOR OPEN CHANNELS

The report presents issues of testing ultrasonic flow-meters for open channels (further designated as PU). Main problems connected with working out a test programme for PU, focusing on the execution of environmental tests, as well as selected parts of the tests. To pay attention to standards and directions necessary for the execution of the above-mentioned tests and to difficulties in establishing the basic parameters essential for the assessment. The paper also gives the basic results of a PU submitted to endurance tests such as: dry heat, damp heat, cold, permanent damp heat, cyclic damp heat. The report presents discuss measurement differences caused by exposures and specify measurement uncertainty. Conclusions of the report are to present difficulties connected with explicitness of assessment.

1. WPROWADZENIE

Przedmiotem badań jest przepływomierz ultradźwiękowy do przewodów otwartych składający się z: czujnika, przetwornika pomiarowego z zintegrowanym przelicznikiem oraz elementu spiętrzającego. Sygnał przekazywany z czujnika ultradźwiękowego do przetwornika pomiarowego jest sygnałem cyfrowym. Elementy spiętrzające, do współpracy z którymi licznik jest przystosowany występują w dwóch grupach:

- a) elementy, których charakterystyka $Q = f(h)$ jest zaprogramowana w pamięci (h - wysokość usytuowania czujnika, Q - przepływ).

b) Elementy, których charakterystyka $Q = f(h)$ nie jest zaprogramowana w pamięci przelicznika, lecz wprowadza ją użytkownik samodzielnie w postaci 32 - p-tów odzwierciedlających krzywą $Q = f(h)$.

W badaniach rozważano przypadek „a”, gdzie element spiętrzający był przyjęty jako przelew trójkątny ostrobrzeżny o kącie rozwarcia 90° . Przelicznik wykonany był w obudowie ochronnej IP65 do lokalizacji na zewnątrz pomieszczeń. Czujnik posiadał zwartą obudowę dla obszarów zagrożonych.

2. CHARAKTERYSTYCZNE WYMAGANIA.

Błąd pomiaru PU: 0.2% zakresu pomiarowego, jako błąd wynikający z uproszczenia funkcji $Q = f(h)$ w stosunku do wzorów znajdujących się w odpowiednich normach. Błąd przelicznika: 0.4% zakresu pomiarowego dla przyjętego w badaniach elementu spiętrzającego, którego charakterystyka znajduje się w pamięci przelicznika. Producent stawiał wymagania na błędy dodatkowe graniczne dla: wilgotności względnej otoczenia - 0.3% zakresu pomiarowego, odchylenia od osi pionu - 0.4 % zakresu pomiarowego. Pozostałe błędy od temperatury otoczenia (kompensowany), zasilania, ciśnienia atmosferycznego, odległości przekazywania sygnału, pozycji pracy, temperatury przepływającej cieczy, uważa się za pomijalne. Analizę odpowiednich rodzajów błędów pod wpływem narażeń podano w pracach [9] i [10].

3. WARUNKI

3.1. Warunki normalne użytkowania:

Temp. otoczenia : - 25 °C ÷ + 55 °C, wilgotność otoczenia 70%, ciśnienie atmosferyczne - grupa P2, wysokość nad poziom morza do 300 m, pozycja pracy: odchylenia czujnika od pionu max. 5° , dla przetwornika i przelicznika pozycja dowolna, temperatura przepływającej cieczy do 50 °C, odległość przetwornika od czujnika ; max.300m, zasilanie: 220V AC (- 15 + + 10 %), 50 ÷ 60 Hz.

3.2 Warunki odniesienia dla wykonywanych prób:

Temp: 20 ± 2 °C ,wilgotność wzgl.: 45 do 75%, ciśnienie atm.: 860 do 1060 hPa. zasilanie: 220V AC, 50/60 Hz, czas nagrzewania urządzenia 30 min.

3.3. Warunki prób klimatycznych:

Na podstawie oceny danych deklarowanych przez producenta oraz zalecenia międzynarodowego (OIML D11) badane wyroby poddano następującym próbom: suche gorąco (próba Bd - wg [4]); $t = 55$ °C, czas 2h; zimno (próba Ad -[3]); $t = - 25$ °C, czas 2h; wilgotne gorąco stałe (próba Ca - wg [5]), $t = 30$ °C, RH = 85% , czas 2 doby; wilgotne gorąco cykliczne: (próba Db - wg [6]) $t = + 55$ °C / + 25 °C, RH = 92/95 % , czas 2 x 24 h. Badane wyroby (trzy sztuki) PU poddano ww.cykłom badań na narażenia dokonując przed, w trakcie próby i po reklimatyzacji pomiarów w trzech wybranych punktach charakterystyki.

4. PRZYRZĄDY DO PRZEPROWADZENIA PRÓB.:

Komora klimatyczna wytwarzająca warunki temperatury z niepewnością ; $\Delta t = \pm 2$ °C

oraz o wilgotności wzgl. z niepewnością $\Delta w = \pm 3\%$, wysokościomierz o niepewności ± 0.2 mm.

5. WYNIKI BADAŃ.

W tabelicy 1 podano wartości błędów bezwzględnych PU jako różnicę przepływu wzorcowego (teoretycznego) i odczytanego przy danej wysokości (punktu pomiarowego 0.6 m). Wysokość mierzona (H_m) - Wysokość wzorcowa (H_w) = Błąd (B1). Błąd dodatkowy (B2) = Wysokość mierzona w temp. (H_t) - Wysokość w warunkach normalnych (H_n) - analogiczne określenia przyjęto dla błędów B_3 i B_4 dotyczących przepływów.

Zmiany wartości błędów pod wpływem narażeń Tab. 1

Kolejne narażenia						
Obliczane błędy:	1. $t=20^\circ\text{C}$ $w = 30\%$	2. $t=55^\circ\text{C}$ $w \leq 20\%$	3. $t = -25^\circ\text{C}$	4. $t=20^\circ\text{C}$ $w = 70\%$	5. $t=30^\circ\text{C}$ $w = 85\%$	6. $t=30^\circ\text{C}$ $w = 85\%$
dla punktu pomiarowego odpowiadającego 0.600m						
B_1 [m]	0.000	0.000	0.007	0.006	0.002	0.002
B_2 [m]	-	0.000	0.007	0.006	0.002	0.002
B_3 [m ³ /h]	-72/2	2	50	21/43	3/10	11/16
B_4 [m ³ /h]	-	70/-4	122/4	93/41	75/8	83/14

c.d. tab.1 Kolejne narażenia

Obliczane błędy:	7. $t=20^\circ\text{C}$ $w = 70\%$	8. $t=55^\circ\text{C}$ $w = 95\%$	9. $t=25^\circ\text{C}$ $w = 95\%$	10. $t=55^\circ\text{C}$ $w = 95\%$	11. $t=20^\circ\text{C}$ $w = 70\%$
dla punktu pomiarowego odpowiadającego 0.600m					
B_1 [m]	0.001	0.003	0.001	0.003	0.000
B_2 [m]	0.001	0.003	0.001	0.003	0.000
B_3 [m ³ /h]	-1/15	16	5	43	1
B_4 [m ³ /h]	71/13	88/14	77/3	115/41	73/-1

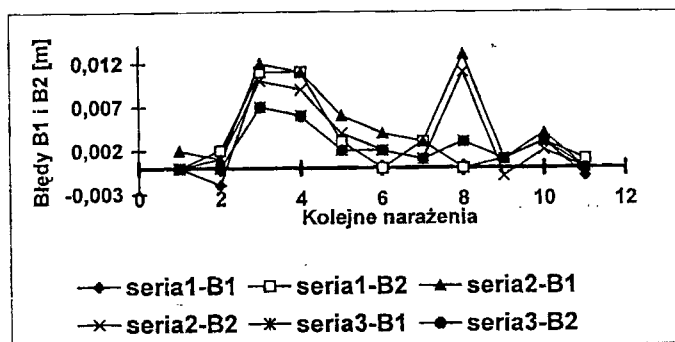
Przedstawione w tab.1 wyniki obejmują fragment badań wykonany dla punktu pomiarowego odpowiadającego 0,6 m. Przedstawiono je przykładowo, aby pokazać wartości spotykanych błędów. W pomiarach uwzględnione były inne punkty (poza 0.6m), wyników tych nie przedstawiamy ze względu na ustalony charakter wypowiedzi. Na wykresach zostały uwzględnione (rys.1 i rys.2), tam też przedstawiono zmiany poszczególnych błędów występujące pod wpływem całego cyklu narażeń, którego poszczególne punkty (od 1 do 11) przedstawiono w tab.1, podając odpowiednie wartości; temp. i wilgotności. Podane na rys.1 i rys.2 oznaczenia są następujące; serie 1 + 3, obejmują wyniki dla punktów pomiarowych: 0,2 m; 0,4 m i 0,6 m. Natomiast błędy: B_1 , B_2 , B_3 , B_4 rozumiane są tak jak podano wyżej.

6. WNIOSKI KOŃCOWE

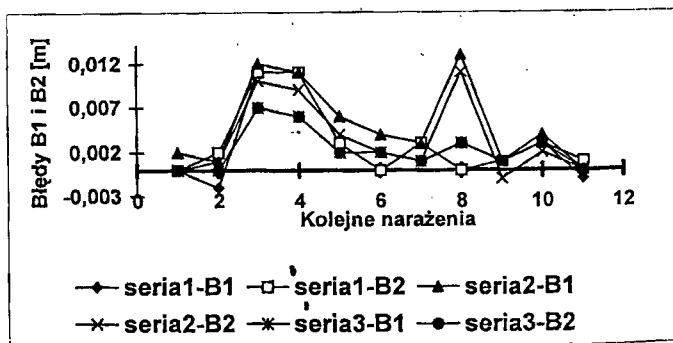
- Celem przedstawionej pracy jest pokazanie problemów związanych z prowadzeniem badań przepływomierzy, z opracowaniem programów badań, uzyskiwaniem wyników badań, ich oceną i interpretacją. Szczególnie jest to istotne dla firm, które usiłują zdobyć zatwierdzenie typu przez GUM, na produkowane bądź sprzedawane urządzenie. Ponadto,

przedstawiono zmiany występujących błędów PU pod wpływem narażeń. Dokonano analizy statystycznej otrzymanych wyników oraz pewnych podsumowań. Do oceny w programie względnych wyników, otrzymanych podczas narażeń, przyjęta została ustalona wartość poziomu cieczy, wskazana przez przyrząd w warunkach bez narażeń.

- Wartość zadana poziomowi cieczy ustalana jest w badaniach, dla określonego punktu pomiarowego (położenia) jako odległość czujnika, od powierzchni odbijającej falę ultradźwiękową.
- W próbach narażeń klimatycznych, określono wartości wskaźników przez czujnik i przelicznik, po pierwszej godzinie narażenia, w połowie całkowitego czasu narażenia, w ostatniej godzinie trwania narażenia oraz po reklimatyzacji (stabilizacji w warunkach normalnych).



Rys.1. Zmiany błędów B1 i B2 pod wpływem narażeń



Rys.2. Zmiany błędów B3 i B4 pod wpływem narażeń

Przyjęto kolejność prób dowolną, pod warunkiem conajmniej ośmio godzinnej stabilizacji badanego obiektu w warunkach normalnych.

- Klasę warunków środowiskowych przyjęto do programu na podstawie [1], natomiast odpowiednie wymagania dla poszczególnych klimatów przyjęto wg [2][3][4][5].
- W związku z częstymi wystąpieniami do GUM zagranicznych firm o uzyskanie zatwierdzenia typu określonego modelu przepływomierza, wydaje się celowe, opracowanie jednoznacznego programu badań w oparciu o dokumenty [1÷ 6]. Ujmującego jednoznaczne określenia błędów dodatkowych występujących podczas narażeń.
- Na wykresach (rys.1 i rys.2) przedstawiono zmiany błędów pod wpływem cyklu narażeń określonego w tab.1. Należy zwrócić uwagę, że widoczne zaburzenia dla wszystkich realizowanych pomiarów, wyraźnie pokazują, że zmiany temperatury od 20°C do 55°C i - 25°C mają największy wpływ na błędy sprawdzanego przepływomierza, co widać na wykresach. Szczególnie zmiany do 55°C i reklimatyzacja powodują znaczne odchylenia i one decydują o ustaleniu granicznych błędów dodatkowych sprawdzanego urządzenia.
- Przesunięcia zaburzeń na wykresach rys.1 i rys.2 wykazują, że układy liczące bezpośrednio różnią się od układu przeliczającego (wykorzystującego oprogramowanie), łagodniejszy przebieg zmian błędów między jednym i drugim rodzajem sprawdzanych błędów (m i m^3/h) dowodziłby, że występują różnice, które mogą wpływać na błędy dodatkowe silniej lub słabiej. Podane przykłady pozwalają na ocenę ilościową.
- Analiza wariancji z klasyfikacją pojedynczą służyła do weryfikacji hipotezy H_0 , że średnie wyników w określonych grupach są równe, wobec hipotezy alternatywnej H_1 , że co najmniej dwie średnie różnią się między sobą. Dla błędów B1 i B2 punktów pomiarowych 0,2; 0,4; 0,6 [m] H_0 była do przyjęcia. Dla błędów B3 i B4 dla punktów 0,2;0,4; [m³/h] też do przyjęcia, dla B3 i B4 dla punktu 0,6 [m³/h] już nie była do przyjęcia ww hipoteza.
- Badania rozkładu statystycznego (test K-S) wykazały, że błędy B1 i B2 miały charakter niejednoznaczny. Były niezgodne z rozkładem normalnym dla początkowego p-tu 0.2m a dla pozostałych miały już charakter zgodny. Podobnie było z błędami B3 i B4. Dlatego ocena wariacyjna ww byłaby uzasadniona. Widać wyraźnie, że w przypadku wpływu narażeń mamy do czynienia z zmianami rozkładu błędów (nie jest normalny) jak i z zmianami wariancji, trudno bowiem mówić o jednakowej wariancji we wszystkich próbach.
- Współczynnik korelacji r_{ik} w zbiorze między i -tą oraz k -tą zmienną losową ($i, k = 1, 2, \dots, f$) określamy jako $r_{ik} = \text{cov}(ik) / \sqrt{\text{cov}(i) \text{cov}(k)}$ gdzie przez cov oznaczono kowariancję.
Gdy $i = k$, współczynnik korelacji jest równy jedynce i mając różne współczynniki korelacji cząstkowe możemy utworzyć macierz korelacji, symetryczną, której elementów nie będziemy wpisywać poniżej przekątnej. Ponieważ występują dwa rodzaje pomiarów : z błędami B1, B2[m] i z błędami B3, B4[m³/h], dlatego wyznaczono dwie macierze korelacji, oddzielne dla tych dwóch rodzajów błędów. Wyniki podano niżej.
- Analiza przedstawionych dalej macierzy współczynników korelacji pozwala ocenić zmiany błędów w zależności od określonego punktu pomiarowego, który nazwaliśmy serią. Widać wyraźnie, że błędy B1 i B2 w różnych punktach pomiarowych są bardziej skorelowane, niż błędy B3 i B4. Zwraca uwagę to, że dla punktu pomiarowego 0.2m i 0.4 współczynnik

korelacji jest najmniejszy, odpowiednio dla błędów B1, B2 i B3, B4. Może to być również wynikiem odpowiednich pomiarów.

	B11	B12	B21	B22	B31	B32
B11	1	0.9583	0.6709	0.6381	0.9098	0.9098
B12		1	0.5967	0.6052	0.8600	0.8600
B21			1	0.9869	0.8554	0.8554
B22				1	0.8343	0.8343
B31					1	1
B32						1

Macierz współczynników korelacji dla błędów B1, B2 serii : 1,2,3.

	B13	B14	B23	B24	B33	B34
B13	1	0.8937	0.6650	0.5797	0.6912	0.6939
B14		1	0.7199	0.7356	0.6196	0.6390
B23			1	0.9658	0.4882	0.5004
B24				1	0.4662	0.4853
B33					1	0.9993
B34						1

Macierz współczynników korelacji dla błędów B3 i B4 serii : 1,2,3

LITERATURA

- [1] OIML D11 - *General requirement for electronic measuring instrument (1994 r.)*.
- [2] PN - 84/E - 04600 - *Próby środowiskowe. Postanowienia ogólne i wytyczne.*
- [3] PN - 84/E - 04601 - *Próby środowiskowe. Próby A - zimno.*
- [4] PN - 84/E - 04602 - *Próby środowiskowe. Próby B - suche gorąco.*
- [5] PN - 84/E - 04603/01 - *Próby środowiskowe. Próba Ca - wilgotne gorąco stałe.*
- [6] PN - 84/E - 04604/02 - *Próby środowiskowe. Próba Db - wilgotne gorąco cykliczne.*
- [7]. ISO - 772 - *Liquid flow measurement in open channels - Vocabulary and symbols.*
- [8]. ISO 4373, *Measurement of liquid flow in open channels - Water level measuring devices.*
- [9] Sawicki A.; *Ocena metrologiczna przyrządów automatyki pod wpływem narażeń.*
Mat. VIII Krajowej Konferencji Metrologii, W-wa 18÷20. X. 1995r..t.1, str.117÷ 122.
- [10] Sawicka M. Sawicki A.; *Błąd multiplikatywny i addytywny pod wpływem narażeń;*
Mat. XXIX Międzynarodowej Konferencji Metrologicznej
Nałęczów 1997r.t.2, str.499. ÷ 505.