

mgr inż. Jan Goska
mgr inż. Marek Maciąg
dr inż. Andrzej Sawicki
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

WPLYW NARAŻEŃ NA PODSTAWOWE PARAMETRY PRZEPLYWOMIERZA

W opracowaniu, przedstawiono analizę zmian błędu objętości (BV) i błędu stałej przetwarzania - k, dla przepływomierza wirnikowego [1], oraz zmiany ich odchyłeń standardowych eksperymentalnych średnich (DV) w zależności od narażeń zewnętrznych temperaturowych i wibracyjnych. Pokazano na wykresach zmiany związane z narażeniami i przedstawia się odpowiednie modele krzywych, najlepiej odpowiadające wynikom doświadczalnym. Rozważa się możliwość wykorzystania analizy odchyłeń standardowych do oceny jakości wyrobów poddanych wpływom narażeń.

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FOR THE BASES PARAMETERS OF FLOWOMETER

In this paper the analysis of the variety of the volume error (BV), the medium experimental standard deviation (DV) as well as the error of the constant transformation-k for turbine flow-meter is discussed. This parameters (errors) dependence on the exposure environmental (temperature, humidity and vibration) are demonstrated. The coefficients, of the correlation and the models of the power polynomials, which reflect best the presented experimental changes, are presented as the best fit of the polynomial function.. It is particularly interesting the possibility of using this method of analysis to selected measurement values the quantity of the products under various conditions..

1. WSTĘP

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wybrane wyniki doświadczalne badań przepływomierzy do cieczy innych niż woda, wykorzystywanych do zliczania objętości i wskazujących wartość chwilową strumienia objętości cieczy – jaką (w tym przypadku) jest mleko. Szczegóły konstrukcyjne omówiono w pracy [1]. W celu sprawdzenia poprawności przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych poddano badaniom prototypy przepływomierzy. Badania obejmowały 16 rodzajów prób realizowanych na trzech prototypach, wykonanych zgodnie z ZN-96/PIAP/7342. Do pomiaru charakterystyk podstawowych przepływomierzy wykorzystano stanowisko wodne, które schematycznie przedstawia rys.7, znajdujące się w zakładzie PIAP - DPQ, wyposażone w pomiarowy zbiornik objętościowy (zalegalizowany przez OUM) posiadający niepewność 0,12%, czasomierz i licznik przepływu. Badania odporności miernika elektronicznego, prowa-

dzono z wykorzystaniem komór klimatycznych i wstrząsarek wibracyjnych oraz symulatora opracowanego w DPQ. W trakcie tych badań sygnał z czujnika przepływu zastąpiono dokładnie określoną liczbą impulsów, doprowadzonych na wejście przetwornika elektronicznego. Porównując objętość wskazaną przez przepływomierz z wyliczoną teoretycznie, przy uwzględnieniu odpowiednich współczynników korekcyjnych, dla poszczególnych częstotliwości (i odpowiadających im wartości strumienia objętości) sprawdzano błędy dodatkowe wprowadzane przez przetwornik elektroniczny przy poszczególnych narażeniach. Natomiast przed narażeniami i po narażeniach przepływomierze były sprawdzane podczas rzeczywistego przepływu cieczy na stanowisku ww. Wyniki, które będą omówione dotyczyć będą tylko pomiarów realizowanych z rzeczywistym przepływem wody, uzyskanych przed wprowadzeniem narażenia i po narażeniu.

2. CEL PROPONOWANEJ ANALIZY

Wynika on z doświadczenia, jakie wiąże się z prowadzeniem licznych prób typu dla różnych wyrobów. W wielu przypadkach ceny prototypów nie pozwalają na poddawanie badaniom większej liczności wyrobów w celu uzyskania statystyki potwierdzającej niepewność zrealizowanych prób. Stąd wynika potrzeba, uzyskania, znacznej liczby wyników na kilku sztukach i szukanie technik, pozwalających nie tylko oceniać dane wyroby, ale cały proces technologiczny, który był stosowany przy ich wyprodukowaniu. Dlatego, w badaniach nie ograniczono się do stwierdzenia, czy dany parametr spełnia założone wymagania konstrukcyjne (bo każdy spełniał) ale zadawaliśmy pytanie, jak dany parametr się zmienia i jaki jest wpływ tych zmian na ocenę wyrobu oraz jakości produkcji. Jakkolwiek tego typu badania są znacznie kosztowniejsze niż ocena alternatywna „dobry lub zły” jednak uzyskany bogaty materiał doświadczalny usprawiedliwia te działania i pozwala na głębszą ocenę konstrukcji i procesu technologicznego. Takie podstawowe parametry powtarzalności i jednorodności wyrobów, mogą z dużym prawdopodobieństwem służyć ocenie wyrobu jak i procesu technologicznego. Wprowadzenie macierzy korelacyjnych ujmujących współczynniki korelacji między poszczególnymi parametrami, jak i wprowadzenie oceny modelu zmian tych parametrów pod wpływem poszczególnych narażeń, pozwalają wykorzystać znaczną ilość wyników eksperymentalnych, które umożliwiają z dużo większą wnikliwością ocenę jakości wyrobu niż zwykła ocena alternatywna.

3. WIELKOŚCI BADANE

Podstawowymi parametrami badanymi w trakcie sprawdzeń, były:

błąd objętościowy – BV, odchylenie standardowe eksperymentalne średniej tego błędu oznaczono – DV, błąd stałej przetwarzania czujnika przepływu – k oznaczony – BK oraz odchylenie standardowe eksperymentalne średniej błędu stałej – DK. Relacje odpowiednie są następujące: $BV = [(V_m - V_z) / V_z] * 100\%$, gdzie: V_m – objętość odczytana z miernika przepływomierza, V_z – objętość odczytana ze zbiornika wzorcowego. Stałą przetwarzania wyznaczono z zależności $k = \text{liczba impulsów} / \text{objętość zbiornika}$. $BK = [(k - k_s) / k_s] * 100\%$, gdzie: k – stała z kolejnego pomiaru, k_s – stała średnia wszystkich pomiarów.

4. WARUNKI I METODY PRZEPROWADZENIA BADAŃ

4.1. Warunki odniesienia podczas wykonywanych prób:

- temperatura odniesienia $+ 20 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- wilgotność względna – od 45 do 75%
- ciśnienie atmosferyczne – od 860 do 1060 hPa

Warunki środowiskowe otoczenia były monitorowane w sposób ciągły przez system „SCANLAB” w laboratorium akredytowanym PIAP-LAB. System zapewniał realizację funkcji odczytu i przetwarzania danych pomiarowych oraz prezentacji wyników w postaci wydruków tabelarycznych.

4.2. Podstawowe stanowiska badawcze

1. Do wykonania sprawdzeń podstawowych charakterystyk niezbędnych do określenia wielkości badanych podanych w p.3 wykorzystano stanowisko do pomiaru charakterystyk przepływowych z objętościowym zbiornikiem pomiarowym (rys. 7) zalegali-zowanym przez OUM.
2. Do badań symulacyjnych wykonywanych podczas występowania narażeń wykorzystywano stanowisko symulacyjne wykonane w PIAP DPQ zawierające układ dozują-cy odliczający teoretycznie obliczoną liczbę impulsów odpowiadającą ustalonej objętości cieczy.

4.3. Aparatura użyta do badań

1. Komora klimatyczna KTK-800 ILKA
 - zakres temperatur: $- 70^{\circ}\text{C} \div + 90^{\circ}\text{C}$
 - wilgotność względna : $10\% \div 95\%$
2. Wstrząsarka wibracyjna TIRA-VIB wraz z aparaturą firmy Bruel
3. Aparatura – mierniki; f-my KHETLEY i HP, oraz generator, częstotściomierz, licznik przepływu i czasomierz.

4.4. Wymagania związane z narażeniami:

1. Odporność na działanie temperatury w zakresie : $- 10 \div 40^{\circ}\text{C}$
2. Odporność na wibracje sinusoidalne w zakresie : $10 \div 55\text{ Hz}$ przy amplitudzie przemieszczeń $0,15\text{mm}$.
3. Wytrzymałość na działanie temperatury: $- 25 \div 55^{\circ}\text{C}$ przy wilgotności w zakresie: $5 \div 95\%$
4. Wytrzymałość na wibracje sinusoidalne o przyspieszeniu 10g w zakresie $5 \div 200\text{ Hz}$

4.5. Dodatkowe wymagania

W czasie badań wartość strumienia objętości nie powinna się zmieniać więcej niż o $\pm 2,5\%$ określonej wartości strumienia objętości, wahania wartości strumienia objętości w czasie każdego pomiaru nie powinny przekraczać $\pm 1\%$ wartości strumienia określonej dla danego pomiaru, odcinek pomiarowy stanowiska, w którym umieszczony jest czujnik powinien mieć odcinki proste o długości co najmniej 300 mm przed czujnikiem i 150 mm za czujnikiem oraz położenie poziome z dopuszczalnym odchyleniem od poziomu $\pm 5^{\circ}$, ciśnienie robocze cieczy powinno być nie niższe niż $0,1\text{ MPa}$ i nie wyższe niż $0,6\text{ MPa}$, zasilanie miernika napięciem $24 \pm 1\text{ V}$, przy tętnieniach nie przekraczających $0,5\text{ V}$.

4.6. Wymagania metrologiczne:

Błąd względny pomiaru objętości dawki nie mniejszej niż 200 dm³ w całym zakresie pomiarowym strumienia objętości powinien zawierać się w granicach $\pm 0,3\%$ wartości poprawnej.

4.7. Metoda prowadzenia prób

Sprawdzenie błędu względnego wykonywano porównując przyrost wskazań liczydła objętości badanego miernika z objętością zmierzoną przyrządem wzorcowym (zbiornik pomiarowy legalizowany). Sprawdzenie wykonywano dla co najmniej siedmiu wartości strumienia objętości: 50, 100, 200, 250, 300, 400, 500 dm³ / min dla objętości 200 dm³. Wartości pomiaru dla jednej wartości strumienia powtarzano 15-krotnie. Po wykonaniu jak wyżej badań przed narażeniami, na trzech sztukach badanych przepływomierzy w następnej kolejności, poddawano je działaniom określonych narażeń. Po narażeniach i odpowiednim procesie reklimatyzacji, przeprowadzono kolejne sprawdzenia błędu względnego objętości.

5. WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań ujęto w trzech grupach tematycznych.

Przedstawiono wykresy rozrzutu uzyskanych wyników, określono macierze korelacji dla poszczególnych zmiennych i dobrano model zmian, dopasowując odpowiedni wielomian stopnia 5. do otrzymanych wyników doświadczalnych. Dwa badane wyroby poddano narażeniom temperaturowym. Otrzymano wyniki pomiarów przed narażeniami i po narażeniach. Przez narażenia I – rozumiemy cykl narażeń temperaturowych, którym poddawane były badane wyroby w komorze klimatycznej. Przez narażenia II – rozumiemy narażenia od wibracji, którym poddane były badane wyroby.

5.1. Zmiany pod wpływem narażeń

Przedstawiono je na rys. 1÷ 6. Pokazano na nich zmiany błędu objętości w zależności od strumienia objętości. Wykresy pokazują zależności przed narażeniami i po narażeniach.

5.2. Modele wielomianowe zmian

Wykresy pozwalają na zbadanie zależności między zmiennymi i pokazują, jak wyniki doświadczalne układają się wzdłuż określonych wielomianów potęgowych, które je najlepiej odzwierciedlają. Do analizy przyjęto wielomian piątego stopnia typu

$$Y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3 + b_4 x^4 + b_5 x^5$$

Dzięki temu wszystkie uzyskane wykresy posiadają wielomiany tego samego stopnia, łatwe do porównywania. Przedstawione w postaci macierzowej ułatwiają analizę

5.3. Wyznaczanie korelacji

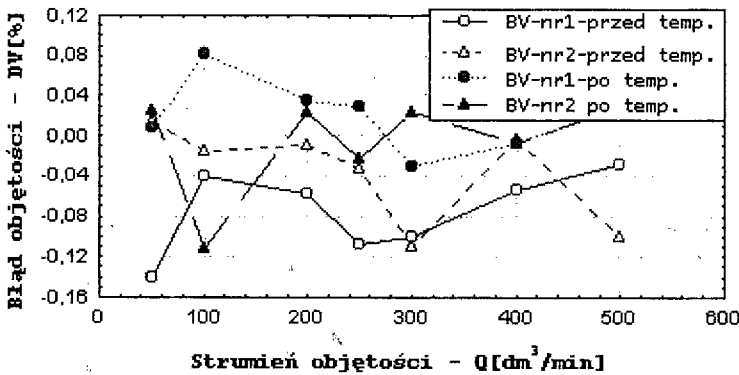
Korelację wyznaczamy na podstawie wyliczenia współczynnika korelacji liniowej Pearsona, który jest wyznaczony przez standaryzację kowariancji i ma postać:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{C(X,Y)}{S_x * S_y}$$

gdzie: \bar{x}, \bar{y} - średnie, a S_x, S_y - odchylenia standardowe sprawdzanych cech

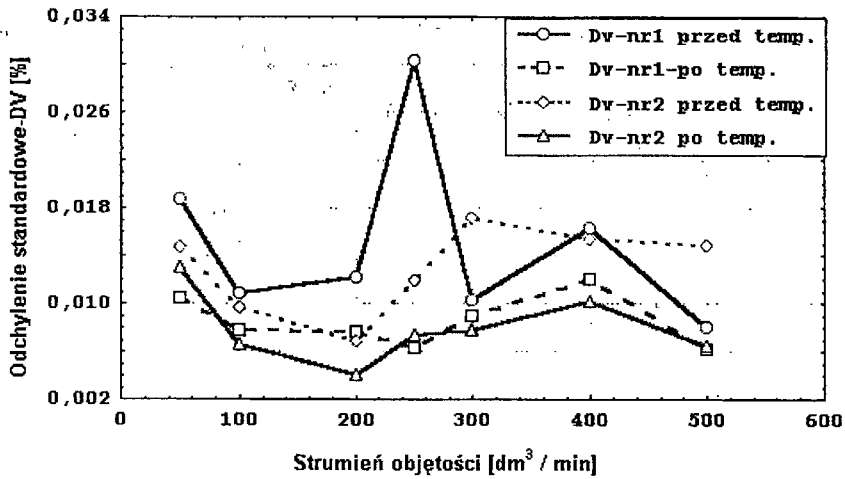
$$\text{kowariancja: } C(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Podana macierz korelacji pozwala określić zbieżność odpowiednich krzywych rozrzutu wyników eksperymentalnych w zależności od tego czy: $-1 \leq r \leq 1$.



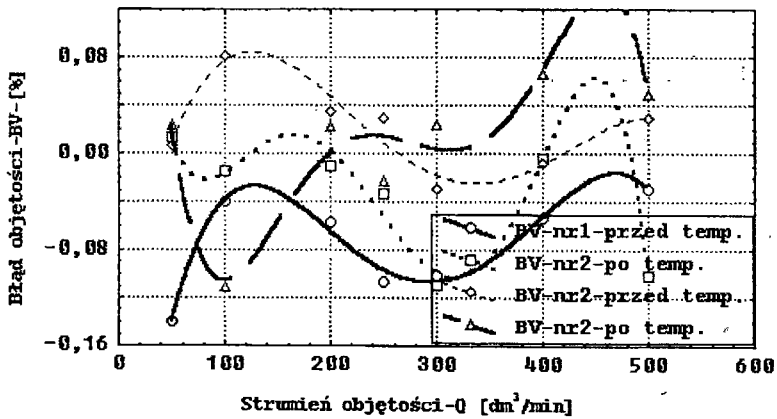
Rys. 1. Zmiany błędu objętościowego przed i po narażeniach

Na rysunku przedstawiono rozrzuty błędu objętości dla dwóch badanych przepływomierzy nr 1 i nr 2 - przed i po narażeniach temperaturowych.



Rys.2. Zmiany odchylenia standardowego

Przedstawiono zmiany odchylenia standardowego eksperymentalnego średniego dla dwóch przepływomierzy przed narażeniami temperaturowymi i po narażeniach.

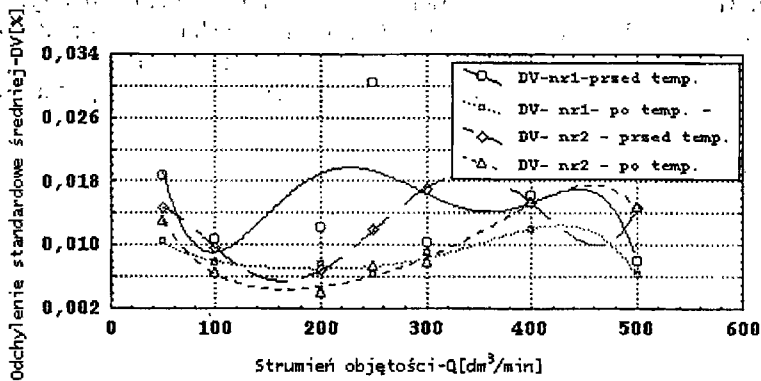


Rys.3. Postacie wielomianów dopasowane do zmian błędu objętości

Ponizej przedstawiono wielomiany potęgowe 5. stopnia, które stanowią modele zmian błędu objętości dla dwóch badanych przepływomierzy.

$$\begin{aligned}
 [y] = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -0,41 \\ 0,35 \\ -0,17 \\ 0,66 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 7,79e^{-3} \\ -0,012 \\ 4,98e^{-3} \\ 0,021 \end{bmatrix} * X + \begin{bmatrix} -5,31e^{-5} \\ 1,457e^{-4} \\ -3,15e^{-5} \\ 2,054e^{-4} \end{bmatrix} * X^2 + \begin{bmatrix} 1,41e^{-7} \\ -7,327e^{-7} \\ 6,88e^{-8} \\ -8,734e^{-7} \end{bmatrix} * X^3 \\
 &+ \begin{bmatrix} -1,39e^{-10} \\ 1,607e^{-9} \\ -4,06e^{-11} \\ 1,692e^{-9} \end{bmatrix} * X^4 + \begin{bmatrix} 2,53e^{-14} \\ -1,264e^{-12} \\ -1,54e^{-14} \\ -1,216e^{-12} \end{bmatrix} * X^5 + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

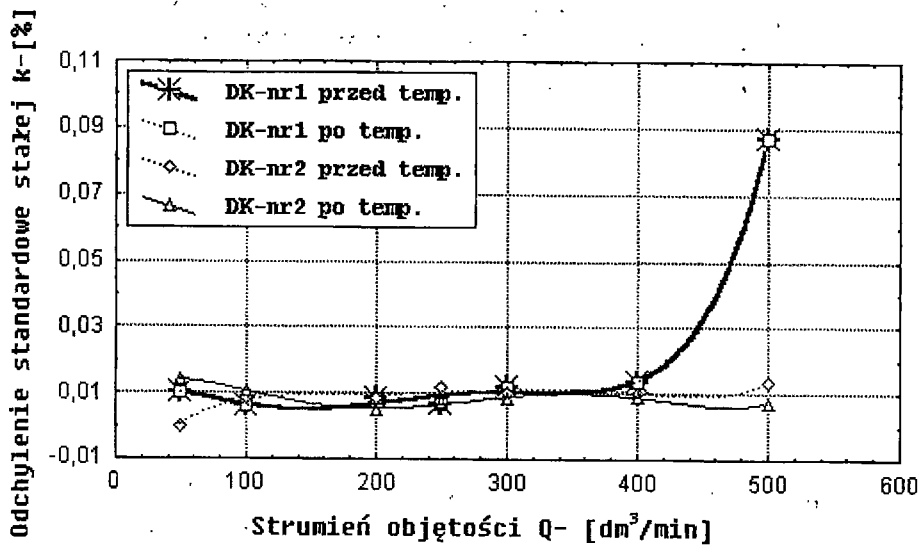
W celu łatwiejszej oceny przedstawiono równania w postaci macierzowej, gdzie ε określa reszkowe błędy dla poszczególnych modeli. Kolejność wielomianów od y_1 do y_4 przyjęto według legendy na rysunkach od pierwszej (górnej) do ostatniej (dolnej).



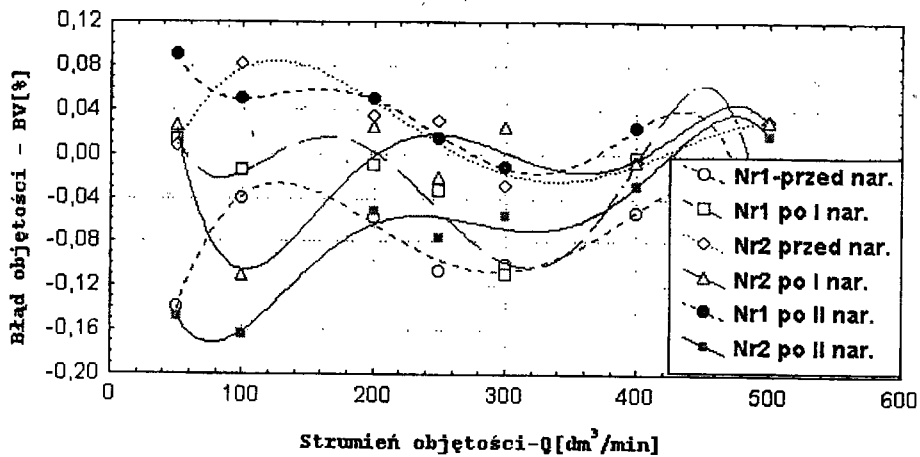
Rys.4. Wielomiany dopasowane do zmian odchylenia standardowego

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -0,07 \\ 0,02 \\ 9,53e^{-3} \\ 0,03 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1,79e^{-3} \\ -1,96e^{-4} \\ 3,30e^{-4} \\ -4,83e^{-4} \end{bmatrix} * X + \begin{bmatrix} 1,76e^{-5} \\ 1,67e^{-6} \\ -6,15e^{-6} \\ 3,57e^{-6} \end{bmatrix} * X^2 + \begin{bmatrix} -7,46e^{-8} \\ -7,49e^{-9} \\ 3,62e^{-8} \\ -1,32e^{-8} \end{bmatrix} * X^3 \\
 &+ \begin{bmatrix} 1,42e^{-10} \\ 1,71e^{-11} \\ -8,36e^{-11} \\ 2,54e^{-11} \end{bmatrix} * X^4 + \begin{bmatrix} -1,01e^{-13} \\ -1,47e^{-14} \\ 6,65e^{-14} \\ -1,93e^{-14} \end{bmatrix} * X^5 + \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Wyżej przedstawiono wielomiany potęgowe 5 stopnia, które stanowią modele zmian odchylenia standardowego błędu objętości dla dwóch badanych przepływomierzy, przed poddaniem ich narażeniom i po narażeniach. Wielkość α - oznacza odpowiednie zmienne resztkowe. Na wykresie rys.5 przedstawiono zmiany odchylenia standardowego dla stałej k - badanych przepływomierzy, a na rys.6 przedstawiono wykresy porównujące zmiany błędu objętości, gdy wyroby były przed narażeniami i po narażeniach. Kolejne narażenia: I -temperaturowe i klimatyczne, II- wibracyjne. W celu określenia jak poszczególne wyniki są ze sobą powiązane, wyznaczono współczynniki korelacji. Odpowiednie ich wartości są następujące: r_1, r_2, r_3 . Są to współczynniki korelacji błędu objętości dla trzech różnych wyrobów i dla różnych narażeń - r_1 , dla błędu odchylenia standardowego dla trzech wyrobów i różnych narażeń - r_2 , dla odchyleń standardowych błędu stałej $K - r_3$ dla wyrobów i narażeń podobnie jak wspomniano.



Rys.5. Zmiany odchylenia standardowego stałej K



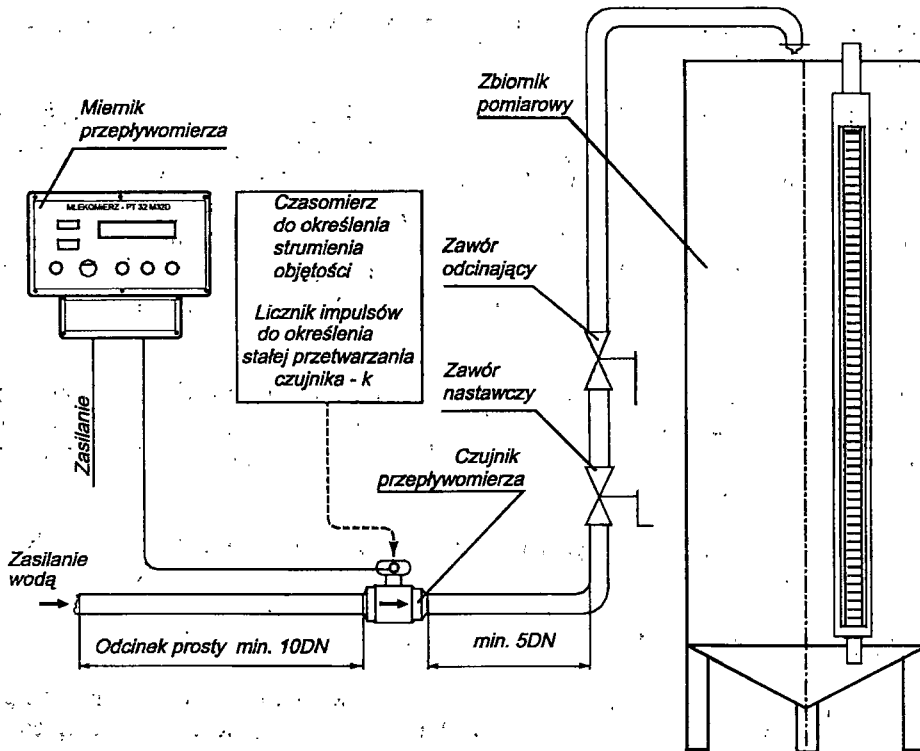
Rys.6. Zmiany błędu objętości dla dwóch wyrobów przy różnych narażeniach

$$r_1 = \begin{bmatrix} & B1 & B2 & B3 & B4 & B5 & B6 \\ B1 & 1 & -0,21 & 0,46 & -0,31 & -0,51 & 0,44 \\ B2 & & 1 & 0,32 & -0,31 & 0,83 & -0,58 \\ B3 & & & 1 & -0,72 & 0,10 & -0,40 \\ B4 & & & & 1 & -0,29 & 0,60 \\ B5 & & & & & 1 & -0,78 \\ B6 & & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

$$r_2 = \begin{bmatrix} & D1 & D2 & D3 & D4 & D5 & D6 \\ D1 & 1 & -0,02 & -0,04 & -0,07 & -0,72 & -0,30 \\ D2 & & 1 & -0,41 & -0,45 & 0,26 & -0,12 \\ D3 & & & 1 & -0,70 & 0,12 & -0,50 \\ D4 & & & & 1 & -0,29 & -0,21 \\ D5 & & & & & 1 & 0,49 \\ D6 & & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

$$r_3 = \begin{bmatrix} & K1 & K2 & K3 & K4 & K5 & K6 & K7 & K8 & K9 \\ K1 & 1,00 & 1,00 & 0,55 & -0,42 & 1,00 & 0,75 & 0,78 & -0,60 & -0,74 \\ K2 & & 1,00 & 0,55 & -0,42 & 1,00 & 0,75 & 0,78 & -0,60 & -0,74 \\ K3 & & & 1,00 & -0,99 & 0,58 & -0,15 & -0,10 & 1,00 & -0,97 \\ K4 & & & & 1,00 & -0,46 & 0,29 & 0,24 & 0,98 & 0,92 \\ K5 & & & & & 1,00 & 0,71 & 0,75 & -0,63 & -0,77 \\ K6 & & & & & & 1,00 & 1,00 & 0,09 & -0,10 \\ K7 & & & & & & & 1,00 & 0,03 & -0,16 \\ K8 & & & & & & & & 1,00 & 0,98 \\ K9 & & & & & & & & & 1,00 \end{bmatrix}$$

W zapisach macierzy użyto następujących oznaczeń: B1...B6 – błędy objętościowe, D1...D6 – zmiany odch. standard. objętości, K1...K9 – odch. stand. błędu stałej – k.



Rys. 7. Stanowisko wodne do badań przepływowych

WNIOSKI

1. Analiza zmian wartości błędu objętości (rys.1) wykazuje, że narażenia temperaturowe, powodują przesuwanie się zmian wartości błędu z wartości ujemnych w kierunku dodatnich.

2. Odchylenie standardowe błędu objętości pod wpływem narażeń temperaturowych zmienia się w kierunku zmniejszonych wartości (rys.2).

3. Wnioski 1 i 2 świadczą o tym, że zmiany błędu wartości strumienia pod wpływem temperatury wahają się w przedziale: $0,16 \div 0,12\%$, natomiast odchylenia standardowego w przedziale $0,002 \div 0,03\%$ - jeżeli nie uwzględnimy zmian przy $250 \text{ dm}^3/\text{min}$, gdzie wynik znacznie odbiegał od przeciętnego, to przedział zmian jest równy $0,04 \div 0,020\%$.

4. Celowym wydaje się wprowadzenie pewnej „obróbki” cieplnej wyrobu, która powinna zmniejszyć i ustabilizować błędy. Prawdopodobnie występują pewne wewnętrzne naprężenia – szczytkowe w badanej konstrukcji, wynikające z obróbki pla-

stycznej czy też wiórowej lub montażu, które mają wpływ na zmiany błędów objętości i błędu odchylenia.

5. Uzyskane wyniki potwierdzają obserwowane w praktyce zachowanie się przepływomierzy w czasie eksploatacji. W przepływomierzach sprawdzanych na stanowisku pomiarowym po pewnym okresie użytkowania obserwuje się nieznaczny wzrost stałej przetwarzania czujnika i zmniejszenie rozrzutu pomiędzy poszczególnymi pomiarami mimo, że w normalnym cyklu produkcji stosuje się wstępne „docieranie”. Z uzyskanych podczas tych badań wyników wynika, że poddanie narażeniom termicznym i mechanicznym przyspiesza proces stabilizacji charakterystyki przetwarzania czujnika..

6. Przedstawione na rys.3 i rys.4 postaci wielomianów potęgowych opisują zmiany błędu objętościowego i odchylenia standardowego. Przyjęty stopień wielomiany okazuje się wystarczającym przybliżeniem. Należałoby rozważyć wykorzystanie ich w programie kompensującym błędy objętościowe przepływomierza.

7. Analiza stałej - k i jej odchylenia (rys.5), wykazała znaczną a stabilność, jedynie końcowa wartość strumienia objętości powoduje znaczne zmiany stałej - k.

8. Wpływ wibracji uwzględniony na rys.6, potwierdza sugestie podane w p.4

9. Analiza macierzy korelacji pozwala zauważyć, że wyniki badań wyrobu przed i po narażeniach wykazują małą korelację (0,02 i 0,23). Występuje znaczna rozpiętość zmian współczynnika korelacji dla każdego z trzech badanych wyrobów. Zwiększenie wartości jego występuje dla przypadków poddanych wibracjom.

10. Błąd stałej - k wykazuje znaczną korelację między badanymi wyrobami. Mniejsza korelacja występuje między odchyleniami standardowymi błędu stałej - k.

LITERATURA

- [1] Goska J., Maciąg M., Sawicki A.: Wybrane aspekty konstrukcyjne przepływomierza turbinowego do szczególnych zastosowań. Materiały KKM 2001 str. 609 ÷ 612
- [2] Sawicki A., Wojda K.: Badania środowiskowe przepływomierza ultradźwiękowego do kanałów otwartych. Materiały z konferencji „AUTOMATION 2000” str.409÷414.