ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1987

Seria : AUTOMATYKA z. 89 Nr kol.916

Stanisław WALUŚ
Instytut Automatyki
Politechnika Śląska

MOŻLIWOŚĆ STOSOWANIA PRZEPŁYWOMIERZA ULTRADŹWIĘKOWEGO W KANAŁACH I RZEKACH

Streszczenie. W artykule przedstawiono podział typów konfiguracji cieków i wymagania na warunki instalowania przepływomierza ultradźwiękowego. Opisano źródła błędów i zebrano wskazania umożliwiające ocenę przydatności metody ultradźwiękowej w konkretnych warunkach.

1. WSTĘP

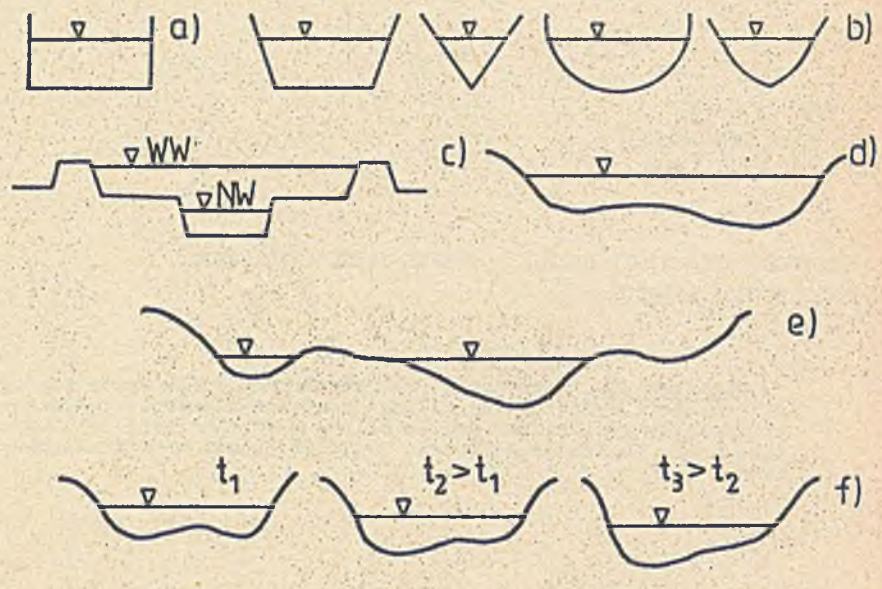
Jak wynika z analizy zawartej w [9] i [10] przepływomierze ultradźwiękowe mogą być stosowane w pewnych warunkach do pomiaru strumienia objętości wody w kanałach otwartych i rzekach. Mają one szereg korzystnych właściwości w porównaniu z innymi przepływomierzami, jednak osiągnięcie dokładności porównywalnej z wynikami pomiaru uzyskanymi za pomocą młynka hydrometrycznego w wyniku całkowania bryły prędkości [4] nie zawsze jest możliwe. Celem niniejszej pracy jest zebranie materiału umożliwiającego ocenę przydatności ultradźwiękowej metody pomiaru przepływu w nawiązaniu do danych konkretnych warunków stosowania.

2. TYPY KONFIGURACJI CIEKÓW

Przekroje przepływowe w kanałach otwartych mają kształt regularny, natomiast w rzekach często kształt jest nie tylko nieregularny, ale zmienny w czasie. Podział kształtów przekrojów cieków przedstawiono schematycznie na rys.1.

Przekrój prostokątny (rys.1a) występuje często w kanałach i zabudowanych odcinkach rzek.

Przekrój regularny (rys.1b) najczęściej ma kształt trapezu. Może być też kształtu trójkątnego, kołowego względnie może być ograniczony od dołu parabolą kwadratową. Przekroje tego typu występują w obudowanych korytach mniejszych rzek, gdzie najczęściej występuje kształt trapezu lub odcinka



Rys.1. Kształty przekrojów przepływowych cieków :
a) prostokątny, b) regularny, c) złożony, d) nieregularny jednokorytowy, e) nieregularny wielokorytowy, f) nieregularny i zmienny w czasie, NW - niska woda, WW - wysoka woda.

koła. Przekrój złożony (rys.1c) występuje najczęściej w przypadku podgórskich i nizinnych rzek, których koryta są obwałowane w takiej odległości od nurtu, aby cała wysoka woda mieściła się między wałami.

Przekrój nieregularny jednokorytowy (rys.1d) spotykany jest najczęściej w rzekach o przepływie łagodnym (spokojnym), gdzie spadek hydrauliczny $I < 1/250$. Prędkość średnia $v_{śr}$ jest mniejsza od prędkości v_p rozprzestrzeniania się fal płaskich [6] :

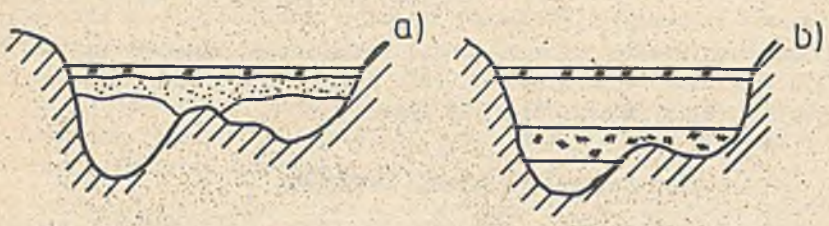
$$v_p = (g \; h_{śr})^{1/2} \qquad (1)$$

gdzie : g - przyspieszenie ziemskie, $h_{śr}$ - średnia głębokość rzeki.

Przekrój nieregularny wielokorytowy (rys.1e) występuje często w postaci doliny z korytem głównym i starorzeczem, które wypełnia się wodą przy jej wysokich stanach.

Przekrój nieregularny zmienny w czasie (rys.1f) występuje w górskich nieuregulowanych rzekach. Powodzie powodują przemieszczanie się koryta względem doliny rzeki oraz zmianę położenia dna względem poziomu morza (obniżanie lub podnoszenie).

Powyższy podział kształtu przekrojów przepływowych koryt dotyczy okresu, gdy rzeka nie jest zamarznięta. W zimie, szczególnie w rzekach górskich mogą wystąpić zjawiska przedstawione na rys.2.



Rys.2. Przekrój poprzeczny rzeki w okresie zjawisk lodowych
a) pokrywa lodowa z podbitką śryżową, b) podwójna pokrywa lodowa

3. WARUNKI INSTALOWANIA PRZEPŁYWOMIERZA ULTRADŹWIĘKOWEGO

Miejsca instalowania przepływomierza ultradźwiękowego winno odpowiadać wymaganiom zebranym w trzech następujących grupach :

3.1. Wymagania dotyczące odcinka pomiarowego

Długość odcinka pomiarowego powinna wynosić 5 do 10 szerokości koryta przed miejscem zainstalowania przepływomierza. Im koryto jest bardziej nieregularne (np. ostre zakole) przed odcinkiem pomiarowym tym długość odcinka spełniającego poniższe wymagania musi być większa. Długość odcinka pomiarowego za miejscem zabudowy przepływomierza powinna wynosić 3 do 5 szerokości koryta. Koryto w odcinku pomiarowym winno spełnić następujące wymagania (wystarczy sprawdzenie wizualne) :

1) stały przekrój przepływowy,
2) oś koryta prosta,
3) w odcinku pomiarowym nie ma ujść dopływów względnie odgałęzień nurtu,
4) w korycie nie ma przeszkód przepływu,
5) powierzchnia dna koryta oraz ścianek powinny być jednorodne, ale dno i ścianki mogą mieć różną chropowatość.

3.2. Wymagania dotyczące przepływu

Warunkiem uzyskania minimalnego błędu całkowania rozkładu prędkości jest stałość rozkładu wzdłuż osi cieku w części odcinka pomiarowego, leżącego między głowicami. W przypadku zmiennego strumienia objętości

wskazanie będzie obarczone błędem tym większym im dłuższy będzie czas uśredniania.

3.3. Wymagania dotyczące przepływającej wody

Woda na drodze między głowicami winna być jednorodna pod względem fizycznym (zanieczyszczenie, zasolenie części strugi związane z wcześniejszym dopływem) i cieplnym. Niejednorodność termiczna może być spowodowana dopływem zimniejszej wody górskiej rzeki względnie cieplejszej ze zbiornika elektrowni cieplnej. Woda nie powinna zawierać nierozpuszczonych ciał stałych oraz pęcherzy gazu.

4. ŹRÓDŁA BŁĘDU POMIARU STRUMIENIA OBJĘTOŚCI

Strumień objętości $\dot{V}$ mierzony za pomocą wielodrogowego przepływomierza ultradźwiękowego oblicza się ze wzoru :

$$\dot{V} = \sum_{i=1}^{n} B_i \cdot \Delta h_i \cdot k_i \cdot v_{1i} + (H - \sum_{i=1}^{n} \Delta h_i)\, v_{i+1} , \qquad (2)$$

gdzie : B_i - szerokość i-tego pasa na jakie dzielony jest przekrój przepływowy, Δh_i - wysokość i-tego pasa, k_i - stosunek prędkości średniej wody w pasie do prędkości średniej wody po drodze fali ultradźwiękowej v_{1i} , H - wysokość poziomu wody, n - liczba pasów leżących całkowicie w przekroju przepływowym, v_{i+1} - szacowana prędkość średnia po przekroju części i+1 pasa zanurzonej w wodzie.

Prędkość v_{1i} wyznacza się mierząc czasy przelotu fali ultradźwiękowej pod prąd t_1 i z prądem wody t_2 :

$$v_{1i} = \frac{l_i}{2 \cos \alpha_i} \cdot \frac{t_{1i} - t_{2i}}{t_{1i} \cdot t_{2i}} \qquad (3)$$

gdzie : l_i - długość i-tej drogi fali ultradźwiękowej w wodzie w i-tym pasie, α_i - kąt między osią kanału lub nurtu rzeki a i-tą drogą fali ultradźwiękowej.

Analiza wzorów (2) i (3) pozwala na wyróżnienie czterech grup błędów:

1) związane z geometrią organu pomiarowego,
2) wynikające z niedokładności pomiaru czasów t_{1i} oraz t_{2i} ,
3) błąd wyznaczenia strumienia objętości w niepełnym i+1 pasie,
4) błędy oszacowania wartości stosunku prędkości średniej wody w pasie do prędkości średniej po drodze fali ultradźwiękowej,
5) błędy związane z niespełnieniem wymagań zebranych w punkcie 3).

4.1. Błędy związane z geometrią organu pomiarowego

Systematyczną składową tych błędów można oszacować po zainstalowaniu głowic. Dokonując dokładnych pomiarów geodezyjnych można zmniejszyć składową przypadkową na tyle, aby nie miała ona istotnego wpływu na błąd całkowity pomiaru strumienia objętości.

4.2. Błędy spowodowane niedokładnością pomiaru czasów t_{1i} oraz t_{2i}

Błąd ten będzie zależał przede wszystkim od działania układów elektronicznych, stosunku $(t_1 - t_2)/ t_1 \cdot t_2$ oraz w mniejszym stopniu od amplitudy odbieranego sygnału.

Ze względu na stosunkowo długie czasy t_1 i t_2 (w przypadku szerokich rzek i kanałów) nie będzie wymagana duża częstotliwość zegara [2].

Długość i-tej drogi fali ultradźwiękowej l_i można wyrazić wzorem:

$$l_i = B_i / \sin \alpha_i , \tag{4}$$

Wstawiając (4) do (3) otrzymuje się :

$$\frac{\Delta t_i}{t_{1i} \cdot t_{2i}} = \frac{V_{1i} \sin 2\alpha_i}{B_i} \tag{5}$$

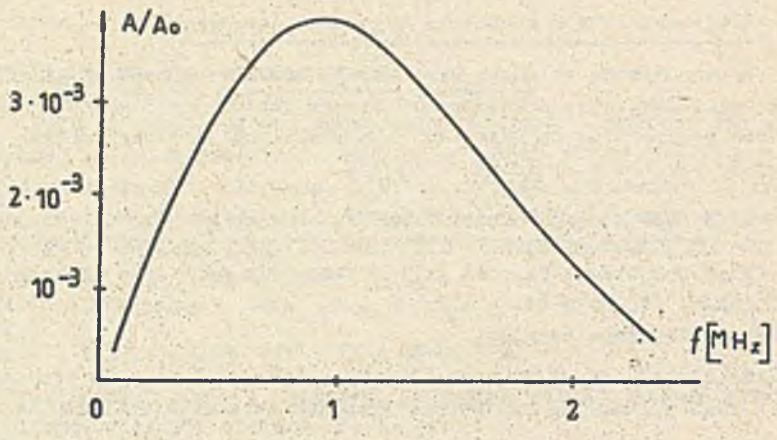
Korzystnie jest, aby wyrażenie po lewej stronie znaku równości w równaniu (5) osiągało wartość maksymalną. Przyrównując pochodną prawej strony równania (5) do zera otrzymuje się, że maksymalna wartość $\Delta t_i/(t_{1i} \cdot t_{2i})$ wystąpi dla $\alpha_i = 45^o$.

Duży wpływ na błąd pomiaru różnicy czasów Δt_i ma amplituda odbieranego impulsu. W przypadku zbyt małej amplitudy może dojść do detekcji czasu t_{1i} lub t_{2i} dla innego półokresu sygnału odbieranego niż założony przy uruchamianiu przyrządu. Korzystając ze wzorów na kąt rozbieżności wiązki ultradźwiękowej φ oraz na tłumienie fali ultradźwiękowej przedstawionych w [3] wyprowadzono w [7] wzór na zmniejszenie się amplitudy wraz ze zmianą odległości od przetwornika piezoelektrycznego:

$$\frac{A}{A_o} = \frac{d/2}{1 \operatorname{tg}(\arcsin(1.22\, c / fd))} \exp\left(-\frac{8\pi^2 \eta f^2}{3 c^3 \varrho} \cdot x\right) \tag{6}$$

gdzie : d - średnica przetwornika piezoelektrycznego, c - prędkość fali ultradźwiękowej w wodzie, η - lepkość dynamiczna, f - częstotliwość fali ultradźwiękowej, ϱ - gęstość.

Dla konkretnych danych : temperatura wody $T = 16^oC$, $l = 64,5$ m, $c = 1470$ m/s, $d = 0,04$ m , $\eta = 1,11 \cdot 10^{-6}$ Pas , $\varrho = 999$ g/m^3 obliczono wartości A/A_o i wyniki przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Zależność zmiany amplitudy odbieranej fali ultradźwiękowej od częstotliwości fali emitowanej

4.3. Błąd wyznaczenia strumienia objętości w górnym pasie

Wartość strumienia objętości wyznaczona według drugiego składnika wzoru (2) będzie obarczona błędem wynikającym przede wszystkim z niedokładności pomiaru poziomu oraz oszacowania prędkości v_{i+1}. W niektórych przypadkach (rys.2) błędy określenia poziomu wody w rzece (inne niż pomiaru poziomu w studzience, gdzie woda nie zamarza) mogą być bardzo duże. Błąd systematyczny związany z przyjętym modelem rozkładu prędkości [2] jest zależny od liczby dróg fali ultradźwiękowej.

4.4. Błędy związane z wyznaczeniem liczb kształtu rozkładu prędkości dla poszczególnych dróg

Wyznaczenie wartości liczby kształtu rozkładu prędkości k_i (we wzorze 2) będą zależały od przyjętego kształtu pionowego profilu prędkości [12]. O ile wartości k_i nie mogą być wyznaczone na podstawie analizy teoretycznej, to należy wyznaczyć je doświadczalnie [1]. Wraz ze zwiększeniem liczby dróg fali ultradźwiękowej maleje wpływ niedokładności wyznaczenia k_i na błąd całkowity pomiaru strumienia objętości.

4.5. Błędy związane z niespełnieniem wymagań zebranych w punkcie 3

Błędy te muszą być szczegółowo analizowane dla każdego konkretnego przypadku stosowania przepływomierza.

5. PODSUMOWANIE

Analiza zagadnień przedstawionych w niniejszej pracy oraz wyniki zawarte w pozycjach podanych w spisie literatury pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków :

1. W porównaniu z klasycznymi i nowymi (elektromagnetyczna, laserowa) metodami pomiaru strumienia objętości wody w kanałach i rzekach metoda ultradźwiękowa zapewniając porównywalną lub większą dokładność niż inne metody oraz umożliwiając pomiar ciągły nie stwarza szeregu niedogodności, jakie niosą ze sobą inne metody (np. konieczność obecności obsługi podczas pomiaru) [9] , [10].

2. Przepływomierze ultradźwiękowe mogą być stosowane efektywnie w przypadku określonego i stałego przekroju pola przepływowego, tzn. dla przypadków a), b) i c) na rys.1.

3. Istotnym ograniczeniem stosowania są sytuacje, jakie mogą wystąpić w zimie w niewielkich górskich rzekach, co pokazano na rys.2. W takich przypadkach teoretycznie efektywną byłaby metoda rozcieńczania i elektromagnetyczna [10] .

4. Stosowanie przepływomierza jednodrogowego wymaga równoczesnego pomiaru poziomu i nie zapewnia wymaganej dokładności pomiaru szczególnie przy dużych zmianach stanu wody [12] . Przeprowadzone badania doświadczalne [7] , [11] wskazują na możliwość pomiaru strumienia objętości w korytach o regularnym przekroju przepływowym o ile zmiany poziomu są niewielkie.

5. Warunkiem osiągnięcia dokładności pomiaru rzędu 2,5 % jest zastosowanie przepływomierza wielodrogowego z równoczesnym pomiarem poziomu [2], [5] . Układ wielodrogowy umożliwia pomiar przy zmieniającym się kształcie rozkładu prędkości. W przypadku spodziewanych dużych zmian poziomu rozmieszczenie dróg powinno być nierównomierne, aby zapewnić porównywalny błąd względny w całym zakresie pomiarowym.

6. Przepływomierz ultradźwiękowy pracuje w sposób ciągły, umożliwia pomiar strumienia objętości dla stanów wysokich (o ile mętność wody nie jest bardzo duża) co pozwala uzyskać dane do wyznaczania krzywej konsumpcyjnej dla maksymalnych przepływów [8] .

7. Zebrane dane dla szeregu punktów pomiarowych dla rzek na terenie Aglomeracji Katowicko-Bielskiej [8] pozwalają wysunąć wniosek, że pomiar strumienia objętości wody metodą ultradźwiękową jest możliwy w większości punktów (z wyjątkiem rzek górskich).

6. LITERATURA

[1] GROLIK E. : Projekt stanowiska wzorcowego do badań przepływomierzy w kanałach otwartych z wykorzystaniem przepływomierza turbinowego typu sonda. Praca dyplomowa magisterska, Instytut Automatyki Pol.Śl. Gliwice, czerwiec 1983

[2] HAGEL M., WALUŚ S. : Koncepcja wielodrogowych przepływomierzy ultradźwiękowych dla kanałów otwartych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śl., nr 847, seria Automatyka, zesz.78, Gliwice 1985, str.189-204.

[3] OBRAZ J. : Ultradźwięki w technice pomiarowej. WNT, Warszawa 1983

[4] PN-81/M-42366. Pomiar przepływu płynu. Pomiary strumienia objętości metodami całkowania bryły prędkości.

[5] RABIEC M. : Modele matematyczne wielodrogowych przepływomierzy ultradźwiękowych do pomiaru strumienia objętości w rzekach. Praca dyplomowa magisterska, Instytut Automatyki Pol.Śl., Gliwice 1986.

[6] TROSKOLAŃSKI A.T. : Hydromechanika. WNT, Warszawa 1967

[7] WALUŚ S. : Badania przepływomierza ultradźwiękowego do pomiaru przepływu w kanałach i ciekach. Sprawozdanie z pracy NB-360/RAu1/81, Instytut Automatyki Politechniki Śl., Gliwice, listopad 1984.

[8] WALUŚ S. : Koncepcja budowy przepływomierzy ultradźwiękowych w rzekach na obszarze systemu wodno-gospodarczego AKB. Sprawozdanie z pracy NB-360/RAu1/81, Instytut Automatyki Pol.Śl., Gliwice, wrzesień 1985

[9] WALUŚ S. : Nieklasyczne metody pomiaru strumienia objętości wody w kanałach otwartych. Studia i Materiały Oceanologiczne, nr 47, PAN, Komitet Badań Morza, Gdańsk 1985, ss.105-122.

[10] WALUŚ S. : Założenia i wytyczne konstrukcyjne przepływomierzy ultradźwiękowych do pomiaru strumienia objętości wody w kanałach otwartych i rzekach. Sprawozdanie z pracy NB-360/RAu1/81, Instytut Automatyki Pol.Śl., Gliwice, grudzień 1983.

[11] WALUŚ S. : Zastosowanie przepływomierza ultradźwiękowego do pomiaru strumienia objętości w kanałach otwartych. Referat na XVI Międzyuczelnianej Konferencji Metrologów, Politechnika Lubelska, 21-23.09.1983 Prace Instytutu Przetwarzania i Użytkowania Energii Elektrycznej, seria C, nr 12, Lublin 1984, ss.79-84.

[12] WOJNAR U. : Modele matematyczne jednodrogowych przepływomierzy ultradźwiękowych do pomiaru strumienia objętości wody w kanałach otwartych, Praca dyplomowa magisterska, Instytut Automatyki Pol.Śl., Gliwice 1985

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСХОДОМЕРА В КАНАЛАХ И РЕКАХ

Р е з ю м е

В статье представлено деление типов конфигураций струй и требования по застройке ультразвукового расходомера. Приведены источники ошибок и собраны указания, позволяющие оценивать пригодность ультразвукового метода в конкретных условиях.

THE FEASIBILITY OF USE OF THE ULTRASONIC FLOWMETER IN RIVERS AND CHANNELS

Summary

The classification of types of stream configuration and the requremends concerning the mounting conditions of the ultrasonic flowmeter are presented in the paper. The sources of errors are shown and the instruction are given making possible the evaluation of the usefulness of the ultrasonic method in the specific conditions.

Recenzent: Dr inż. Krzysztof RUTKOWSKI

Wpłynęło do Redakcji 17.06.1987 r.