

Christian WARTINI
Technische Hochschule
Otto von Guericke
Magdeburg

POMIAR PRZEPŁYWU W KANAŁACH OTWARTYCH METODĄ ULTRADŹWIĘKOWĄ

Streszczenie. W artykule podano parametry kanałów otwartych oraz przedstawiono konwencjonalne metody pomiaru przepływu w tych kanałach. Omówiono dwie metody pomiaru przepływu przy pomocy ultradźwięków: pośrednią (polegającą na pomiarze poziomu w odpowiednio ukształtowanym kanale) i bezpośrednią, która polega na pomiarze prędkości średniej w kilku drogach usytuowanych na określonych głębokościach kanału. Przeanalizowano źródła błędów wynikające ze stosowania ultradźwięków do pomiaru poziomu z powietrza i wody oraz błędy związane z różnymi sposobami obliczania przepływu na podstawie wyników pomiaru prędkości na różnych głębokościach.

1. Wstęp

Ultradźwiękowa metoda ma coraz większe znaczenie w przypadku pomiaru przepływu w rurociągach ze względu na możliwość stosowania przetworników całkowicie elektronicznych. Dzięki wbudowaniu nowoczesnych podzespołów (łącznie z mikroprocesorami) uzyskuje się przyrządy spełniające wysokie wymagania. Ze względu na brak ruchomych części mechanicznych przyrządy te charakteryzują się dużą trwałością.

Specyficzne właściwości pomiaru przy pomocy ultradźwięków zostały opisane w literaturze i można przyjąć, że są znane [1]. W przeważającej liczbie przypadków pomiaru przepływu płynów chodzi o sposoby prędkościowe. Przepływ jest określony na podstawie pomiarów prędkości ultradźwięków. Sygnał może być odwzorowany w postaci różnicy czasów, różnicy faz, różnicy napięć lub częstotliwości. Obecny rozwój techniki nie jest zakończony.

Obok pomiaru przepływu w rurociągach, pomiar przepływu w kanałach ma duże znaczenie. Kanały są stosowane zarówno dla wody pitnej, jak i użytkowej oraz ścieków.

2. Parametry kanałów otwartych

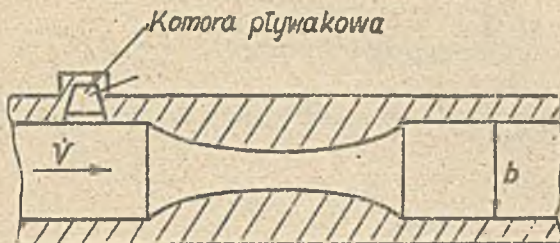
Warunkiem stosowania ultradźwiękowej metody pomiaru jest znajomość parametrów kanału. Średnia prędkość przepływu w ogólnym przypadku podlega nieznacznym wahaniom w przeciwieństwie do rurociągów. Małe prędkości przepływu powodują osadzanie się niesionych obcych materiałów. Duże prędkości przepływu obciążają mocno dno kanału, co może prowadzić do jego uszkodzenia. Dlatego z punktu widzenia gospodarki wodnej stosuje się prędkości przepływu rzędu 1 - 1,5 [m/s]. Zapewnienie tej prędkości uzyskuje się poprzez odpowiedni kształt i wymiary kanału, tzn. przekroje prostokątne dla małych prędkości przepływu i trapezowe dla dużych. Wymiary kanałów stosowanych w gospodarce wodnej komunalnej oraz przemysłowej są bardzo różne. Szerokość i wysokość małych kanałów dla miejscowości o liczbie mieszkańców 2-3 tys. wynosi około 0,2 - 0,3 [m]. Przepływy w kanałach dla dużych zakładów wynoszą 20 000 [m³/h] i więcej, zaś szerokości kanałów wynoszą 2 - 3 [m] i wysokości 1 - 1,5 [m]. Ze względów techniczno-budowlanych ta wysokość dla kanałów komunalnych nie jest przekraczana. Potrzebne powiększanie przekroju kanału realizowane jest poprzez zwiększenie jego szerokości. Oznacza to, że w przypadku pomiaru natężenia przepływu potrzebny zakres zmian poziomu wynosi od 0 do około 1,5 [m]. Kanały zasilające elektrowni wodnych i jądrowych mają w większości przypadków wymiary większe niż [3][m] + 3,5[m] i ich przekroje są prostokątne lub trapezowe. Dla pomiaru ważne są również wielkość i rodzaj zanieczyszczeń. Ciężka stała lub gazy, których geometryczne wymiary są mniejsze niż $\lambda/4$, gdzie λ jest długością fali dźwiękowej, tłumią ultradźwięki (absorpcja). Cząstki o wymiarach równych nieparzystej wielokrotności $\lambda/4$ powodują odbicie. Oznacza to, że w przypadku pomiarów przy pomocy ultradźwięków zanieczyszczenia o wymiarach porównywalnych z długością fali powodują osłabienie fal, co jest przyczyną dodatkowego osłabienia dźwięku [2].

Wielkość ciał stałych odpowiada wymiarom urządzeń zabezpieczających. Wymiary te leżą w granicach 20-30 [mm]. Oprócz tego zostaje wprowadzony piasek i płynące materiały drobnoziarniste. W zakresie częstotliwości MHz powoduje to odbicia, natomiast wahania tłumienia mogą być przyczyną błędów pomiaru.

3. Konwencjonalne metody pomiaru przepływu w kanałach otwartych

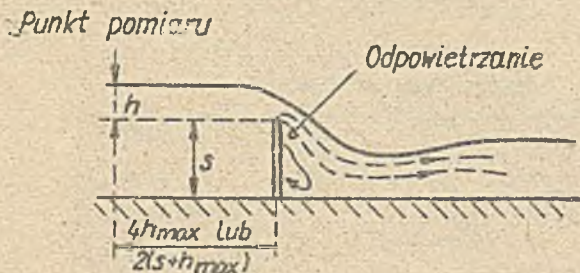
Największe znaczenie w gospodarce wodnej mają obecnie kanały Venturiego /rys.1/. Budowane są one zarówno z dolnym progłem, jak i bez niego. Mierzona jest wysokość spiętrzenia h . Charakterystyka przepływu jest nieliniowa. Przepływ jest proporcjonalny do $h^{3/2}$. Kanały Venturiego przysparzają względnie mało trudności. Mogą być one zabudowane na miejscu z gotowych części wykonanych z betonu, blachy lub tworzyw sztucznych. Problemem jest wysokość spiętrzenia. Na ogół poziom mierzy się mechanicznie przy pomocy

pływaka. Ze względów technicznych ten pomiar musi być wykonany w specjalnej, bocznie usytuowanej studzience. Ponieważ w tych studzionkach są małe prędkości przepływu, mogą one ulec trwałemu zaplaszczeniu. Poziomomierze działające na zasadzie elektrycznego konduktometru nie zawsze w pełni odpowiadają postawionym warunkom. Od pewnego czasu w handlu są przyrządy, które mierzą poziom przez wykorzystanie sygnału ciśnienia, jakie jest na dnie. Obydwa typy przyrządów nie znalazły większego zastosowania przemysłowego.



Rys.1. Kanał Venturiego

Obok kanałów Venturiego będą stosowane przelewy pomiarowe /rys.2/ z bocznym przewężeniem lub bez niego [3]. Boczne przewężenie umożliwi pomiar małych przepływów.

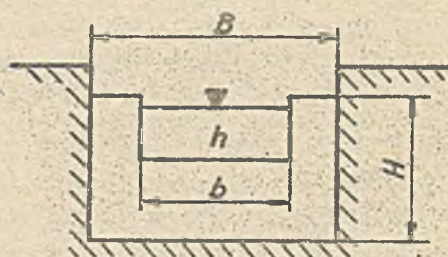


Rys.2. Przelew pomiarowy prostokątny

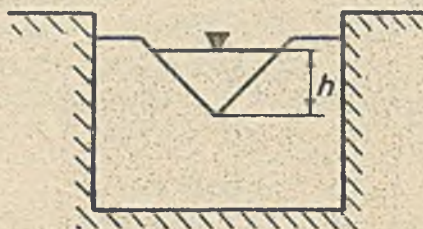
We wcięciu prostokątnym w koronie przelewu zachodzi zależność proporcjonalna do $h^{3/2}$ /rys.3/.

Proporcjonalność do $h^{5/2}$ uzyskuje się w przypadku przelewu Thomsona [4] z trójkątnym wcięciem /rys.4/. Przelew ten stosuje się w przypadku bardzo małych przepływów.

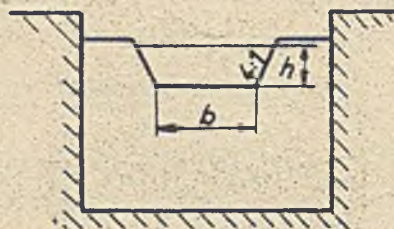
Duszą czułość (szczególnie przy małych przepływach) wykazuje również przelew Cipoletti'ego przedstawiony na rys.5. Jego charakterystyka jest typu $h^{3/2}$.



Rys.3. Przelew pomiarowy prostokątny z bocznym przewężeniem

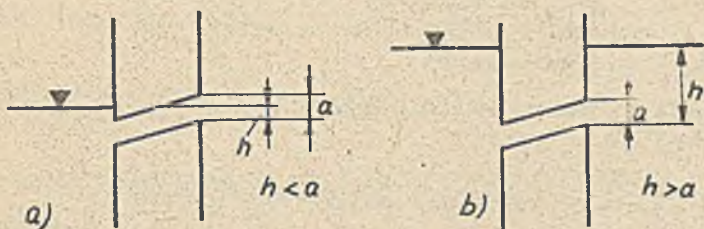


Rys.4. Przelew Thomsons



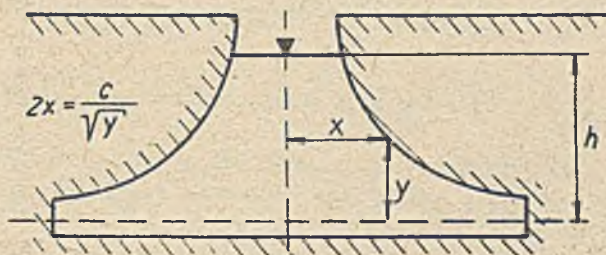
Rys.5. Przelew Cipolletti'ego

Jeżeli jaz ma oprócz spełniania funkcji pomiarowych zatrzymać płynące materiały, stosuje się przelew ze szparą ukośną. Jego charakterystyka jest zależna od napełnienia i jest proporcjonalna do $h^{3/2}$ /rys.6/ lub do $h^{1/2}$.



Rys.6. Przelew z ukośną szparą

Ciekawym wariantem jest przelew proporcjonalny /rys.7/. Ukształtowanie korony przelewu zgodnie z przebiegiem paraboli pozwala uzyskać proporcjonalną zależność pomiędzy przepływem i wysokością spiętrzenia.



Rys.7. Przelew proporcjonalny

Oprócz wymienionych jazów pomiarowych znane są inne rozwiązania budowlane, jednak nie będą tu brane pod uwagę. Zadanie polega, podobnie jak w przypadku kanału Venturiego, na pomiarze spiętrzenia. Na bazie przepływomierza indukcyjnego dla rurociągów opracowano przyrządy dla kanałów [6]. Stosowanie takich rozwiązań wiąże się z dużymi kosztami i małą możliwością ich dopasowania, stąd nie należy oczekiwać, że te przetworniki znajdą szersze zastosowanie. W kanałach otwartych, w których

nie można wbudować ani kanałów pomiarowych, ani jazów - można pomiary przepływu wykonywać przez pomiar wielowymiarowy na różnych wysokościach przy pomocy młynków hydrometrycznych lub indykatorów [7]. Takie przetworniki pomiarowe mają charakter laboratoryjny.

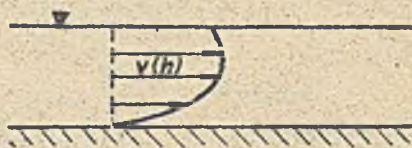
4. Warianty pomiaru przepływu przy pomocy ultradźwięków

Pomiar przepływu jest możliwy zasadniczo dwoma sposobami :

- 1/ pomiar średniej prędkości przepływu przez zastosowanie zmodyfikowanej ultradźwiękowej metody pomiarowej,
- 2/ zastosowanie klasycznych kanałów pomiarowych i pomiar poziomu przy pomocy ultradźwięków,

4.1. Bezpośrednia, ultradźwiękowa metoda pomiaru przepływu

W kanałach - podobnie jak w rurociągach - tworzy się rozkład prędkości /rys.8/. Maksymalna prędkość występuje w około 1/5 całkowitej głębokości względem zwierciadła wody. Średnia prędkość wynosi $0,823 \pm 0,875$ prędkości maksymalnej. Praktycznie przepływ jest zawsze turbulentny.



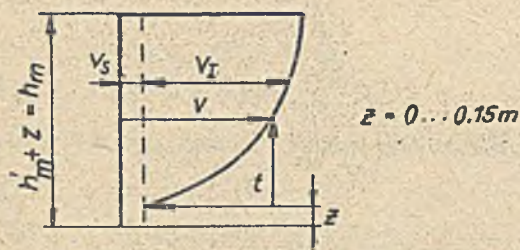
Rys.8. Przebieg względnej prędkości w kierunku pionowym

Dokładny analityczny sposób opisu rozkładu prędkości w kierunku wertykalnym nie jest możliwy. W przybliżeniu rozkład faktyczny można opisać równaniem /rys.9/ :

$$v = \sqrt{t_0 J} \left[K_E + K_I \sqrt{2 \frac{t}{t_0} - \left(\frac{t}{t_0} \right)^2} \right], \quad //$$

gdzie : J - spadek niwelacyjny, $K_E = 36 \text{ [m}^{1/2}/\text{s]}$, $K_I = 26 \text{ [m}^{1/2}/\text{s]}$.

Podczas stosowania metody ultradźwiękowej do pomiaru przepływu w kanałach otwartych należy uwzględnić to (w przeciwieństwie do pomiaru w rurociągach), że obok przepływu występuje drugi parametr - stan wypełnienia. Ze zmian prędkości przepływu wraz z wysokością (zgodnie z podanym równaniem) wynika pionowe przyporządkowanie ultradźwiękowych dróg pomiarowych. Zachodzi więc konieczność pomiaru wielodrogowego. Jest również możliwe



Rys.9. Przybliżony rozkład prędkości w kierunku pionowym

podanie przybliżonego równania opisującego rozkład prędkości w kierunku poziomym. Opis analityczny jest niepotrzebny, o ile wyznaczona jest średnia prędkość przepływu \bar{v} na podstawie pomiarów w wielu drogach usytuowanych poziomo. W gospodarce wodnej punkty pomiarowe prędkości przepływu są zwykle rozdzielane liniowo w kierunku pionowym. Wynika to z odpowiednich przepisów technicznych [7]. W tabelicy 1 zestawiono zależności głębokości punktów pomiarowych od ich liczby

| Metody | Głębokości pomiarowe | Równanie dla prędkości średniej |
|-----------------|--|---|
| Jednopunktowa | $0,4 h_m$ | $\bar{v} = v_{0,4}$ |
| Dwu-punktowa | $0,4 h_m ; h_m$ $0,2 h_m ; 0,8 \cdot h_m$ | $\bar{v} = 0,31 v_1 + 0,694 v_{0,4}$ $\bar{v} = 0,5 (v_{0,2} + v_{0,8})$ |
| Trzy-punktowa | $0,2 h_m ; 0,4 h_m ; 0,8 h_m$ | $\bar{v} = 0,25(v_{0,2} + 2v_{0,4} + v_{0,8})$ |
| Cztero-punktowa | $h_0 ; 0,33 h_m ; 0,67 h_m ;$ $h_m ;$ | wzór /3/ |
| Pięć-punktowa | $h_m ; 0,25 h_m ; 0,5 h_m ;$ $0,75 h_m ;$ | wzór /3/ |
| Sześć-punktowa | $h_m ; 0,2 h_m ; 0,4 h_m ;$ $0,6 h_m ; 0,8 h_m ; h_m ;$ | wzór /3/ |

Tabl.1. Głębokość punktów pomiarowych oraz równania na prędkość średnią \bar{v} w zależności od liczby punktów.

Wartość średnią prędkości wyraża się ogólnym wzorem

$$\bar{v} = \frac{1}{h_m} \int_0^{h_m} v(h) dh . \quad /2/$$

Przybliżone całkowanie przy pomocy formuły trapezów [8] daje dla $n > 4$

$$\bar{v} = \frac{1}{2(n-1)} \left[v(0) + 2v\left(\frac{1}{n-1} h_m\right) + 2v\left(\frac{2}{n-2} h_m\right) + \dots + 2v\left(\frac{n-2}{n-1} h_m\right) + v(h_m) \right] ; \quad /3/$$

gdzie h_m - maksymalna głębokość.

Pomiary prędkości na dnie kanału $v(0)$ i prędkości na powierzchni $v(h_m)$ muszą być wykonane w pobliżu dna i w pobliżu powierzchni. Przepływ w przypadku prostokątnego przekroju A oblicza się ze znanego związku

$$\dot{V} = A \bar{v} \approx A \bar{v} . \quad /4/$$

Dla przekrojów nieprostokątnych dodaje się obliczone cząstkowe przepływy zamiast wstawiania prędkości wyliczonej na podstawie wzoru /3/ do wzoru /4/. W zasadzie pomiary te mogą być przeprowadzone przy pomocy metody ultradźwiękowej. Każdy kanał pomiarowy składa się z dwóch przetworników fali ultradźwiękowej, które naprzemian pracują jako nadajnik i odbiornik [1]. Droga fali ultradźwiękowej będzie usytuowana poziomo i przebiega poprzez całą szerokość koryta. Wynik pomiaru jest proporcjonalny do średniej prędkości \bar{v} w kierunku poziomym. Głębokości pomiarowe oblicza się dla $n > 4$ ze wzoru

$$h_i = \frac{n-i}{n-1} h_m , \quad i = 1, \dots, n, \quad /5/$$

przy czym n jest liczbą nieograniczoną od góry.

Przy tej samej liczbie dróg pomiarowych korzystnie jest określać średnią prędkość /równanie 2/, przy pomocy wzoru Czebyszewa [8]

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{v}_i(h_i) . \quad /6/$$

W przypadku przelewu trapezowego ten sposób przybliżonego całkowania wymaga niejednakowych odległości poszczególnych dróg fal ultradźwiękowych od siebie. W zależności od n otrzymuje się wartości odległości h_i dróg fali ultradźwiękowej od dna kanału :

$$n = 2 : h_1 = 0,2113 h_m ; h_2 = 0,7887 h_m$$

$$n = 3 : h_1 = 0,1464 h_m ; h_2 = 0,5 h_m ; h_3 = 0,854 h_m$$

$$\begin{aligned}
 n = 4 & : h_1 = 0,1027 h_m ; h_2 = 0,4062 h_m ; h_3 = 0,5938 h_m ; \\
 & h_4 = 0,8973 h_m ; \\
 n = 5 & : h_1 = 0,0838 h_m ; h_2 = 0,3127 h_m ; h_3 = 0,5 h_m ; \\
 & h_4 = 0,6872 h_m ; h_5 = 0,9162 h_m ; \\
 n = 6 & : h_1 = 0,0669 h_m ; h_2 = 0,2887 h_m ; h_3 = 0,3667 h_m ; \\
 & h_4 = 0,6333 h_m ; h_5 = 0,7113 h_m ; h_6 = 0,9331 h_m ; \\
 n = 7 & : h_1 = 0,0581 h_m ; h_2 = 0,2352 h_m ; h_3 = 0,338 h_m ; \\
 & h_4 = 0,5 h_m ; h_5 = 0,662 h_m ; h_6 = 0,7648 h_m ; h_7 = 0,9419 h_m ; \\
 n = 9 & : h_1 = 0,0442 h_m ; h_2 = 0,1995 h_m ; h_3 = 0,2356 h_m ; \\
 & h_4 = 0,416 h_m ; h_5 = 0,5 h_m ; h_6 = 0,584 h_m ; h_7 = 0,7644 h_m \\
 & h_8 = 0,8005 h_m ; h_9 = 0,9558 h_m .
 \end{aligned}$$

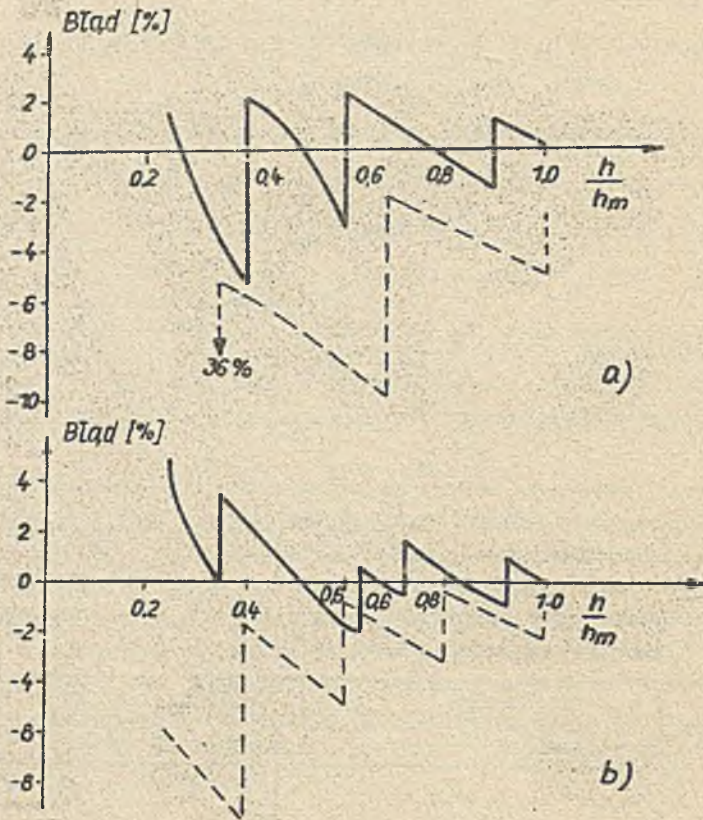
Ponieważ metoda Czebyszewa bazuje na interpolacji wielomianowej Lagrange'a, przybliżenie rozkładu prędkości wielomianem stopnia $n-1$ jest dokładne, natomiast dla wielomianu wyższego jest przybliżone. W tabelicy 2 zestawiono błędy w zależności od liczby dróg fal ultradźwiękowych dla jednakowych /wzór 3/ i niejednakowych odległości między drogami ultradźwiękowymi (uzyskanych z metody Czebyszewa - wzór /6/).

| Liczba dróg | Metoda trapezów (liniowe odległości między drogami) | Metoda Czebyszewa (nieliniowe odległości między drogami) |
|-------------|--|---|
| 2 | 0,2 % | 0,5 % |
| 3 | 0,4 % | 0,3 % |
| 4 | - 2,6 % | 0,2 % |
| 5 | - 1,7 % | 0,1 % |
| 6 | - 1,2 % | 0,07 % |
| 7 | - 0,9 % | 0,06 % |

Tabelica 2. Błąd aproksymacji metodą trapezów i Czebyszewa.

Tabelica 2 obrazuje korzyści stosowania metody Czebyszewa. Zwiększanie liczby dróg powoduje monotoniczne zmniejszenie błędu. Tymczasem przy liniowym przyporządkowaniu głębokości dróg wraz z liczbą dróg ultradźwiękowych błąd zmienia znak i powiększa swą wartość bezwzględną.

Dotychczasowe rozważania dotyczyły przypadku, gdy poziom jest stały, ale w kanałach otwartych zmienia się on wraz ze zmianami przepływu. Konsekwencją tego jest powstawanie błędu systematycznego, ponieważ drogi ultradźwiękowe nie są rozmieszczone optymalnie. Na rys.10 pokazano ten związek dla $n = 4$ i $n = 6$.



Rys.10. Procentowy błąd pomiaru prędkości przepływu w zależności od wysokości poziomu h dla przyporządkowania dróg pomiarowych wg metody Czebyszewa (—) i wg metody trapezów (- - -)

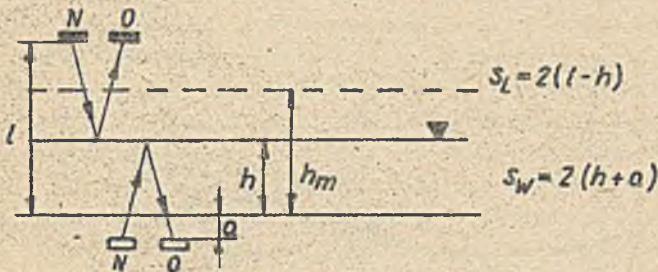
a) 4 drogi pomiarowe, b) 6 dróg pomiarowych.

Błąd rośnie wraz z obniżeniem się poziomu. Ponieważ przetworniki ultradźwiękowe muszą być zainstalowane na stałe, redukuje się liczbę dróg pomiarowych, jakie są w wodzie. Na rys.10 zaznaczono punkty, w których przetworniki są zainstalowane przez skok błęd.

Zmiany poziomu zwiększają błąd pomiaru. Ogólnie biorąc, przez zastosowanie metody Czebyszewa błąd pozostaje w granicach, dających się zaakceptować. Przy 7 drogach pomiarowych i zmianach poziomu w granicach $\pm 25 + 100$ [%] błąd nie przekracza $2,5$ [%]. Przez zastosowanie mikroprocesora, który wykonuje odpowiednie operacje rachunkowe, uzyskuje się nowe technicznie rozwiązanie pomiaru przepływu w kanałach otwartych.

4.2. Pośrednie pomiary przepływu przy pomocy ultradźwięków

Powstaje zadanie spiętrzenia wody przed kanałem Venturiego lub przed wodowskazem w celu umożliwienia pomiaru. W zasadzie przetworniki ultradźwiękowe mogą być instalowane pod powierzchnią wody lub nad powierzchnią.



Rys.11. Umiejscowienie przetworników ultradźwiękowych

Obydwa warianty mają zarówno dodatnie, jak i ujemne strony. Istotnym parametrem jest tłumienie fali ultradźwiękowej. Przy upraszczającym założeniu, że występuje tylko absorpcja, ciśnienie dźwięku można wyrazić przybliżonym wzorem

$$p = p_0 e^{-\alpha f^2 s}, \quad /7/$$

gdzie s - długość drogi fali ultradźwiękowej.

Jak wynika ze wzoru /7/, ciśnienie silnie zależy od częstotliwości f . Współczynnik tłumienia jest praktycznie wielkością stałą, zależną od rodzaju materiału i wynosi :

$$\begin{aligned} \text{dla powietrza :} & \quad \alpha = 1,7 \dots 4 \cdot 10^{11} \text{ [s}^2/\text{m]}, \\ \text{dla wody :} & \quad \alpha = 2,5 \cdot 10^{16} \text{ [s}^2/\text{m]}. \end{aligned}$$

Z tego wynika, że dla długości około 2 do 4 metrów maksymalna częstotliwość dla emisji w powietrzu wynosi około 40 [kHz]. Powyżej tej częstotliwości odbierany sygnał jest bardzo mały i jego wykorzystanie jest utrudnione. Natomiast w wodzie mogą być wykorzystywane fale o częstotliwość-

ciach MHz. Dla częstotliwości 37 [kHz] i długości drogi fali ultradźwiękowej 2 [m] przy napięciu 60 [V] w nadajniku uzyskuje się sygnał o napięciu 1 [V] w odbiorniku. To odpowiada tłumieniu 35 [dB]. Obydwa wibratory wyposażone są w tuby dźwiękowe. Bez tych tub tłumienie wynosi ok. 92 [dB] (napięcie w odbiorniku wynosi 1,5 [mV]).

Dla przetworników instalowanych w wodzie przy częstotliwościach 1 + 5 [MHz] jest możliwe wykorzystanie napięcia z odbiornika, które wynosi kilka miliwoltów. Zastosowanie tuby dźwiękowej nie jest wymagane, gdyż kierunkowość w tym zakresie częstotliwości jest wystarczająco duża. Kąt stożka promieniowania głowicy przy częstotliwości 1 [MHz] wynosi ok. 0,09 [rad]. Ta duża kierunkowość stwarza pewne problemy, co pokazano na rys.12.



Rys.12. Wpływ kształtu fali na jej odbicie

Ze względu na kształt fali ultradźwiękowej będzie ona odbijana na powierzchni wody. To prowadzi do zmiany napięcia w odbiorniku. Ponieważ praktycznie wykorzystanie tego sygnału jest możliwe przy pewnej minimalnej (prógowej) wartości, powstaje błąd pomiaru przepływu. Nawet przy małych falach na powierzchni wody mogą powstać tak duże odchylenia wiązki, że napięcie nie może być wykorzystywane. Praktycznie oznacza to konieczność rozmieszczenia przetworników ultradźwiękowych na dnie kanału oraz zastosowanie piezoelektrycznych przetworników grubościennych z płaską powierzchnią emitującą. Im mniejsza jest częstotliwość, tym mniejszy jest wpływ falowania wody. Częściowe polepszenie jest również możliwe przez ukształtowanie sferycznej powierzchni promieniującej. Tym samym powiększa się kąt rozwarcia wysyłanej wiązki dźwiękowej.

W przypadku zainstalowania nadajnika i odbiornika nad lustrem wody proporcje mają się podobnie. Również w tym przypadku pomiary przy 37 [kHz] ze względu na zależność od powierzchni wody charakteryzują się bardzo ma-

lymi napięciami. Tym samym wpływ fal dla bardzo małych częstotliwości jest mniejszy. Duże znaczenie ma również forma wysyłanego sygnału. Pomiary charakteryzują się opóźnieniem i tak czas narastania w piezoelektrycznych przetwornikach ultradźwiękowych z Piezolanu S (tytanian cyrkonowo-oksytowy) jest równy 25 lub więcej okresom odpowiadającym jej częstotliwości własnej. Przy częstotliwości 37 [kHz] należy się liczyć z $0,5 \pm 1,0$ [ms]. To odpowiada drodze w powietrzu $0,17 - 0,35$ [m]. Przy częstotliwości 2 [kHz] i promieniowaniu z dna kanału osiąga się odpowiednio długość drogi ultradźwiękowej tylko 2 - 3 [cm], co odpowiada 13 ± 20 [μ s].

Z powodu ograniczonego progu czułości aparatury elektronicznej (do pomiaru czasu) może powstać błąd [podobny do wywołanego zmianami tłumienia w kanale ultradźwiękowym, jak i opisanymi już odbiciami]. Aby minimalizować ten błąd, należy zapewnić jak największą szybkość narastania wysyłanego sygnału i jak największą amplitudę. Ograniczenie stanowi obciążalność przetwornika ultradźwiękowego. Technicznie rozwiązuje się ten problem przez pobudzanie krótkimi impulsami prostokątnymi. O ile czas trwania impulsu napięcia pobudzającego równa się dokładnie czasowi wynikającemu z częstotliwości własnej, wtedy na wyjściu przetwornika ultradźwiękowego powstaje krótki impuls ultradźwiękowy. Jego czas trwania odpowiada dokładnie jednej czwartej okresu. Podobne wyniki osiąga się, stosując napięcie pobudzające narastające liniowo i bramkowane. O ile okres sygnału narastającego odpowiada częstotliwości własnej lub jej wielokrotności, powstają jednobiegunowe, pojedyncze impulsy ultradźwiękowe. W rzeczywistości są wymagane bardzo wysokie napięcia, natomiast realizacje techniczne wymagają wysokich częstotliwości.

Czas narastania ma również wpływ na najmniejszy mierzalny poziom (dla przetwornika na dnie kanału) i powoduje powstanie czasu martwego. Przez montaż przetwornika w odległości a od najmniejszego poziomu, jaki ma być mierzony (rys.11) możliwy jest pomiar poziomu od zera.

Do odcinka a dodaje się droga odpowiadająca czasowi narastania sygnału. W analogiczny sposób można założyć odpowiednią drogę dla przetworników umiejscowionych ponad lustrem wody ($l > h_{max}$). Powyższa analiza wskazuje, że problemy przy zastosowaniu przetworników ultradźwiękowych, zarówno nad wodą, jak i w wodzie, są jakościowo podobne. Kryteria dla wielkości częstotliwości pomiarowej lub własnej przetwornika są częściowo przeciwstawne. Dla przetworników ultradźwiękowych zainstalowanych nad wodą optymalną częstotliwość wynosi od 30 do 50 [kHz]. Przetworniki instalowane na dnie kanału mogą być wykonane dla częstotliwości wynoszącej kilka MHz.

5. Uwagi końcowe

Ultradźwiękowe przyrządy pomiarowe umożliwiają pomiar natężenia przepływu w kanałach otwartych i można tu stosować zarówno metodę bezpośrednią, jak i pośrednią. Metoda bezpośrednia (oparta na pomiarze prędkości przepływu) jest stosunkowo kosztowna ze względów technicznych. W tej metodzie wymagana jest większa liczba kanałów i sygnały mogą być multipleksowane. Korzyścią tej metody (w porównaniu do pośredniej) jest między innymi to, że nie jest potrzebna zabudowa przetworników w kanale. Mogą być również wykonywane pomiary w przypadku nieprostokątnych przekrojów kanałów.

Pośredni pomiar ultradźwiękowy z wykorzystaniem kanału Venturiego lub jazu pomiarowego pozwala na pomiar poziomy. Przy małych poziomach wskazane jest instalowanie przetworników na dnie kanału. W przypadku dużych zmian poziomu wody korzystne jest instalowanie przetworników ponad zwierciadłem wody. W obydwu metodach bardzo ważna jest kompensacja wpływu prędkości fali ultradźwiękowej. Jej wartość decyduje w istotny sposób o możliwości do uzyskania dokładności pomiaru. Ta problematyka nie została tu omówiona, gdyż jest ona podobna do występującej w przypadku rurociągów [1].

6. Literatura

- [1] WARTINI Ch. : Problemy pomiaru przepływu za pomocą ultradźwięków ze szczególnym uwzględnieniem metody przesunięcia fazowego. Zesz.Nauk. Politechniki Śląskiej, Automatyka, t. 52, 1980.
- [2] TIETZ H.D. : Ultraschall- Messtechnik, Berlin, VEB Verlag Technik, 1969
- [3] ORLICEK A.F., REUTHER F.L. : Zur Technik der Mengen- und Durchflussmessung von Flüssigkeiten, München u. Wien, Oldenburg Verlag, 1971.
- [4] ORLICEK A.F., REUTHER F.L. : Dreiecküberfalle nach Thomson, Bestimmung von Abflüssen und Überlaufhöhen, Werkstandard WAPRO, 2.04, Oktober 1969
- [5] ORLICEK A.F., REUTHER F.L. : Schrägschlitzüberfalle, Bestimmung von Abflüssen und Überlaufhöhen. Werkstandard WAPRO 2.10, Juni 1976.
- [6] ROLFF J., STARKE H. : Magnetische Abflussmesser in offenen Gerinnen. Archiv für Techn.Messen 5/1973, Lfg 448, 44.81-84.
- [7] ROLFF J., STARKE H. : VORSCHRIFT Nr 4. - Durchflussmessvorschrift Berlin, Amt für Wasserwirtschaft beim Ministerrat der DDR, 1969.
- [8] PISKUNOW N.S.: Differential- und Integralrechnung, Teil 2. Leipzig, BSB B.G. Teubner Verlagsgesellschaft 1970.

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ

Резюме:

В статье подано параметры открытых каналов а также представлено методы измерения расхода в этих каналах. Описано два метода измерения расхода при помощи ультразвука : непосредственный (который сводится к измерению уровня в соответственна приспособленном канале) и посредственный который заключается в измерению средней скорости в нескольких определённых сечениях канала. Проведено анализ ошибок вытекающих из применения ультразвука для измерения уровня из воздуха или из воды а также ошибки связанные с различными способами расчёта расхода на основе измерения скорости на различных глубинах.

ULTRASONIC FLOW-MEASUREMENT IN AN OPEN HYDROMETRIC FIUME

Summary:

The open hydrometric fumes parameters and the conventional methods of flow measurement are being presented in the paper. There are discussed two methos of ultrasonic flow-measurements : the direct (level-measurement in a hydrometric fiume) and the indirect one. The sources of errors while using ultrasounds for level measurement (both from the air and from the water) and for flow-measurement in different depth have been analised.