

Joanna BĄK

Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska,  
Politechnika Krakowska

## ALTERNATYWNE METODY POMIARU NATĘŻENIA PRZEPLYWU ŚCIEKÓW OCZYSZCZONYCH

### ALTERNATIVE METHODS OF MEASURING THE FLOW RATE OF TREATED SEWAGE

*Quantity as well as quality of treated sewage discharged into rivers is very important due to water protection. The article proposes two alternative ways of measuring the flow rate of treated sewage at sewage treatment plants: the method using rising air bubbles technique (RABT) and the method using California pipe. These methods allow rapid measurement at low cost, and can serve as a preliminary measurement or verification of the used methods. Currently, research on the adaptation of these methods for use in the sewer system are carried out in Cracow University of Technology. Also studies to increase the accuracy of these methods are conducted.*

## 1. Wprowadzenie

Pomiary strumieni objętości i masy płynów oraz ilości przepływających płynów stanowią ważną część metrologii. Wyniki dokonywanych pomiarów powinny być wiarygodne i dokładne. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2004/22/WE z dnia 31 marca 2004 roku w sprawie przyrządów pomiarowych [1] (nazywana Dyrektywą MID od skrótu angielskiej nazwy Measurement Instruments Directive) zawiera wymagania szczególne dla przyrządów pomiarowych (m.in. dla wodomierzy oraz systemów pomiarowych dla ciągłych i dynamicznych pomiarów objętości lub masy cieczy innych niż woda).

Istnieje wiele podziałów urządzeń do pomiaru w/w strumieni. Uwzględniając fizyczne zasady działania przepływomierze można podzielić następująco [2]:

- spiętrzające przepływ
- pływakowe
- turbinowe
- elektromagnetyczne
- ultradźwiękowe
- komorowe
- siłowe (Coriolisa)

- cieplne
- wirowe
- inne (w tym optyczne, korelacyjne).

Niektóre z w/w przepływomierzy znajdują zastosowanie w inżynierii sanitarnej [3]. W dziedzinie inżynierii środowiska w zakresie gospodarki wodno – ściekowej pomiar strumieni objętości płynów (wody/ścieków) oraz ich ilości jest również niezmiernie istotny.

## 2. Przyczyny pomiarów natężenia przepływu i ilości ścieków

Konieczność dokonywania pomiarów natężenia przepływu i ilości ścieków wynika między innymi z licznych aktualnie obowiązujących aktów prawnych. Należą do nich pośród innych:

- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne [4]
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska [5]
- Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków [6]
- Obwieszczenia Ministra Środowiska w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska.

Ustawa Prawo wodne w artykule 46 punkt 1 nakłada obowiązek pomiaru ilości ścieków na zakłady przeznaczające ścieki do rolniczego wykorzystania. Prawo ochrony środowiska w artykule 287 zobowiązuje podmioty korzystające ze środowiska do zbierania informacji między innymi o ilości ścieków wprowadzanych do wód lub do ziemi, a Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków obowiązuje dostawców ścieków przemysłowych wprowadzanych do urządzeń kanalizacyjnych do zainstalowania urządzeń pomiarowych służących do określania między innymi ilości ścieków.

## 3. Metody i techniki pomiarowe

Wybór metody i techniki pomiaru natężenia przepływu i ilości płynu uzależniony jest od rodzaju medium i miejsca pomiaru. Inne są metody pomiaru w korytach otwartych i systemach zamkniętych, ale z częściowym napełnieniem, a inne w przewodach pracujących pod ciśnieniem.

W przypadku ścieków wybór metody pomiaru i zastosowanego przepływomierza powinien być poprzedzony analizą rodzaju i jakości ścieków, których pomiar ma dotyczyć. Inne metody pomiaru mogą być stosowane dla ścieków sanitarnych, deszczowych, przemysłowych, miejskich, surowych, oczyszczonych. Decyduje o tym przede wszystkim obecność zanieczyszczeń zawieszonych w ściekach.

Na oczyszczalniach ścieków do pomiaru natężenia przepływu ścieków oczyszczonych stosuje się koryta pomiarowe[3] i przelewy miernicze.

### 3.1. Przelewy

Przelewy o ostrej krawędzi stosowane są jako przelewy pomiarowe [7]. Do pomiaru natężenia przepływu najczęściej stosuje się przelewy o prostych kształtach geometrycznych o charakterystykach przepływu opisanych funkcją potęgową [8].

W metodzie pomiaru natężenia przepływu z zastosowaniem przelewów miarą natężenia przepływu jest wysokość poziomu cieczy w pewnej odległości przed przelewem [2] mierzona od korony przelewu.

Związek pomiędzy wydatkiem przelewu  $Q$  a spiętrzeniem cieczy nad jego krawędzią  $h$  w ogólnej postaci przedstawiony jest poniżej, a nazywany jest charakterystyka przelewu [9]:

$$Q = F(h), \quad (1)$$

gdzie:

$h$  – spiętrzenie cieczy ponad krawędzią przelewu.

Poziom cieczy można wyznaczać następującymi metodami [2]:

- ultradźwiękową
- hydrostatyczną
- przy użyciu układu pomiarowego z pływakami.

W pracy [8] zaprezentowano opracowanie podstaw teoretycznych wyznaczania kształtu przelewów o różnych właściwościach mierniczych, których charakterystyka przepływu jest opisana funkcjami – potęgową, logarytmiczną i wykładniczą.

### 3.2. Zwężkowe kanały miernicze

Zastosowanie zwężkowych kanałów mierniczych jest sposobem zbliżonym do pomiaru przy użyciu przelewu mierniczego, a miarą strumienia objętości jest poziom spiętrzonej cieczy przed kanałem [2].

Wyróżnia się następujące zwężkowe kanały miernicze [3]:

- koryto Venturiego
- kanał Venturiego
- koryto Parshalla
- koryto Khafagi
- koryto pomiarowe Palmera – Bowlusa
- koryto Hasslinga
- koryto odpływowe rurowe
- koryto Badgera.

## 4. Alternatywne metody pomiaru natężenia przepływu ścieków oczyszczonych

Aktualnie prowadzone są badania w Politechnice Krakowskiej nad zastosowaniem innych tanich sposobów pomiaru natężenia przepływu ścieków w systemie kanalizacyjnym. Należą do nich: metoda rury kalifornijskiej oraz metoda pomiaru z zastosowaniem wznoszących się pęcherzyków powietrza, nazywana także metodą z zastosowaniem techniki RABT (Raising Air Bubble Technique) [10]. Proponuje się zastosowanie

w/w metod do pomiaru natężenia przepływu ścieków oczyszczonych na wylocie z oczyszczalni ścieków jako sposobów na szybki wstępny pomiar bądź weryfikację aktualnie stosowanych metod.

#### 4.1. Metoda rury kalifornijskiej

Alternatywnym sposobem pomiaru natężenia przepływu cieczy do obecnie stosowanych jest opracowana przez Vanleera [11, 12, 13] metoda, nazywana również metodą rury kalifornijskiej [12]. Metoda ta jest różnie klasyfikowana w literaturze - niektóre źródła zaliczają ją do grupy pomiarów przy użyciu przelewu [12], inne klasyfikują ją jako metodę trajektorii (metody trajektorii – polegają na pomiarze współrzędnych poziomych i pionowych punktu strugi wypływającej z rury) [13], a jeszcze inne jako osobną metodę [14].

Metoda ta służy do pomiaru swobodnego wypływu z częściowo napełnionej poziomej rury bądź pomiaru natężenia przepływu w kanałach otwartych w których istnieje możliwość przeprowadzenia przepływu przez poziomą częściowo napełnioną rurę ze swobodnym wypływem [13]. Z tego względu proponuje się rozważenie zastosowania tej metody do pomiaru natężenia przepływu ścieków oczyszczonych na wylocie z oczyszczalni ścieków. W Politechnice Krakowskiej trwają badania nad przystosowaniem metody rury kalifornijskiej dla rur ułożonych w spadku.

Natężenie przepływu po pomiarze parametru  $a$  (względnie napełnienia  $h$ ) przy znanej średnicy wewnętrznej  $d$  można obliczać przy wykorzystaniu następującego wzoru [12, 13]:

$$Q = K \left(1 - \frac{a}{d}\right)^{1,88} \cdot d^{2,48} \quad (2)$$

a po przekształceniu i uproszczeniu:

$$Q = K \cdot d^{0,6} \cdot h^{1,88} \quad (3)$$

gdzie:

$Q$  – natężenie przepływu (jednostki zależne od stałej  $K$ )

$K$  – stała zależna od jednostek ( $K = 4680$  dla  $Q$  wyrażonego w l/s [12])

$d$  – średnica rury (wewnętrzna)

$a$  – odległość pomiędzy górną wewnętrzną płaszczyzną rury a zwierciadłem cieczy mierzona na końcu rury

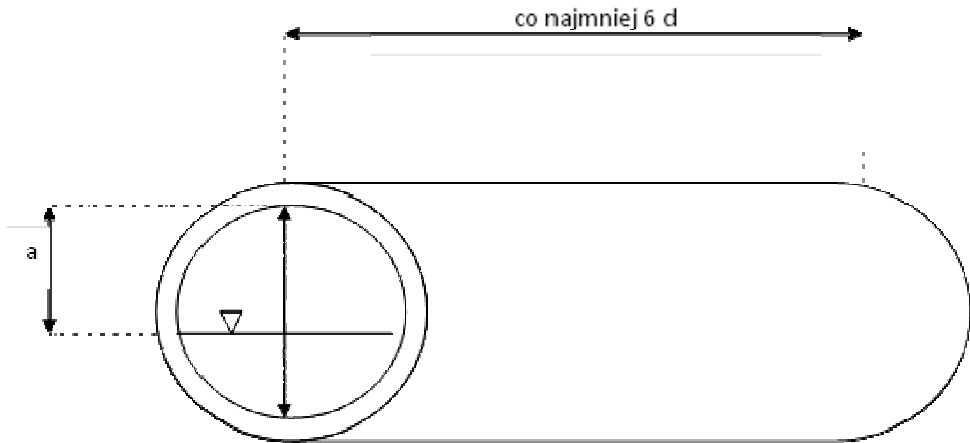
$h$  – napełnienie.

Błędy o wartości +/- 10% lub więcej są typowe dla tej metody [12].

Przy pomiarze natężenia przepływu metodą rury kalifornijskiej powinny być spełnione następujące wymagania [12, 13]:

- rura odpływowa musi być wypoziomowana
- rura musi być częściowo napełniona, a napełnienie powinno być mniejsze od 55% (względnie od 50%)
- musi być zapewniony swobodny wypływ z rury
- długość rury odpływowej powinna być co najmniej równa bądź większa wartości 6 średnic.

Wzór (2) powstał na podstawie badań rur o średnicach z zakresu 75 – 250 mm, ale był stosowany z sukcesem dla rur o średnicy do 900 mm [12]. Wartości napełnienia w zakresie 50 – 55% wymagają dalszych badań pod względem możliwości stosowania wzoru Vanleera [15].



Rys. 1. Rura kalifornijska – schemat z oznaczeniem do wzoru

Fig. 1. California pipe – scheme and symbol for equation

## 4.2. Metoda z zastosowaniem techniki RABT

Inną metodą jest pomiar natężenia przepływu z zastosowaniem wznoszących się pęcherzyków powietrza. Prosta analiza teoretyczna wykazuje istnienie zależności liniowej pomiędzy odpływem lokalnym w kanale  $q$  (w odniesieniu do jednostki szerokości) a długością wzniosu pęcherzyków powietrza  $L$  wytwarzanych i wypuszczanych na dnie kanału, gdzie długość  $L$  jest to miara poziomego przesunięcia pęcherzyków powietrza pomiędzy przekrojem w którym bąbelki powietrza będą wypuszczane a przekrojem gdzie pojawiają się na powierzchni [16].

Wraz z wzniosem pęcherzyków powietrza w wodzie zwiększa się ich średnica, jednak dla wody o głębokości mniejszej niż 3,5 m wzrost ten jest mniejszy niż 10% [17 za 16]. Z tego względu uznano [16], iż średnica może być rozpatrywana jako stała, a dla określonej średnicy oblicza się prędkość końcową/graniczną pęcherzyka powietrza.

Miejscowy lokalny odpływ może być obliczany na podstawie następującego wzoru [16]:

$$q = a \cdot w_{\infty} \cdot L \quad (4)$$

gdzie:

$q$  – odpływ w odniesieniu do jednostki szerokości kanału

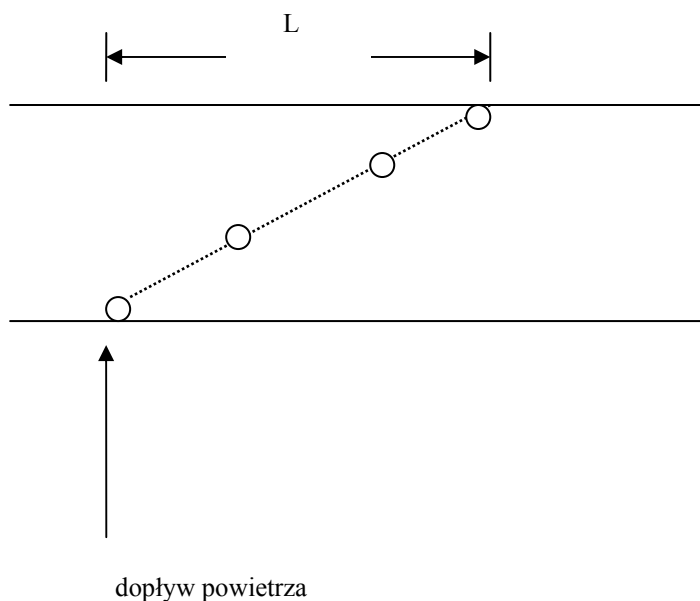
$L$  – długość wzniosu pęcherzyka powietrze mierzona jako poziome przesunięcie pomiędzy przekrojem w którym pęcherzyk jest wypuszczany a przekrojem gdzie pojawia się na powierzchni

$a$  – współczynnik wyznaczany eksperymentalnie

$w_{\infty}$  - prędkość końcowa/graniczna pęcherzyka powietrza w odniesieniu do średnicy  $d$ .

Próby zastosowania tej metody prowadzone były m.in. przez [18] - na kilku rzekach i kanałach w Wielkiej Brytanii (m.in. rzeka Bela i Lune), a także na wylocie z oczyszczalni ścieków, gdzie uzyskano dobrą zgodność wyników z miernikiem elektromagnetycznym [18]. Aktualnie prowadzone są badania nad zastosowaniem tej metody na wylocie ścieków oczyszczonych z jednej z małopolskich oczyszczalni ścieków. Niepewność w pojedynczym pomiarze tą metodą określona przez [18] mieści się w zakresie  $\pm 6,5 \div 8 \%$ .

Badania nad tą metodą prowadzone były lub są przez zespoły badawcze m.in. z Wielkiej Brytanii [18], Grecji [16], Holandii [10] oraz Polski (Politechnika Krakowska).



Rys. 2. Konfiguracja wzniosu pęcherzyków powietrza w pionowej płaszczyźnie kanału otwartego (opracowano na podstawie [16])

Fig. 2. Configuration of air bubble rise in vertical plane of open channel (based on [16])

## 5. Podsumowanie i wnioski

W ochronie wód niezwykle istotna oprócz jakości odprowadzanych do rzek ścieków oczyszczonych z oczyszczalni ścieków jest także ich ilość. W artykule zaproponowano dwa alternatywne sposoby pomiaru natężenia ścieków oczyszczonych na wylocie z oczyszczalni ścieków: metodę z zastosowaniem wznoszących się pęcherzyków powietrza oraz metodę z zastosowaniem rury kalifornijskiej. Są to metody umożliwiające szybki pomiar przy niskich kosztach, a mogą służyć jako pomiary wstępne bądź weryfikacja stosowanych metod. Aktualnie trwają prace badawcze w Politechnice Krakowskiej nad dostosowaniem tych metod do wykorzystania w systemie kanalizacyjnym, a także nad zwiększeniem dokładności tych metod.

*Artykuł powstał w ramach realizacji projektu badawczego nr 5633/B/T02/2010/38.*

## Bibliografia

- [1] Dyrektywa 2004/22/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 31 marca 2004 r. w sprawie przyrządów pomiarowych Directive 2004/22/EC on Measuring Instruments (MID)
- [2] Pospolita J. „Pomiary strumieni płynów” Oficyna Wydawnicza Politechnika Polska Opole 2004
- [3] Erb H.G. „Technika pomiarów przepływu wody i ścieków” Wydawnictwo Seidel – Przywecki 1999
- [4] Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne
- [5] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska
- [6] Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków
- [7] Lewandowski J.B. „Mechanika płynów” Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu Poznań 2006
- [8] Majcherek H. „Podstawy hydromechaniki w inżynierii oczyszczania wody” Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej Poznań 2006
- [9] Sawicki J.M. Mechanika przepływów Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej Gdańsk 2009
- [10] Hilgersom K., Luxemburg W. „The rising air bubble technique for streamflow measurement”
- [11] Vanleer B.R. „The California Pipe Method of Water Measurement” Engineering News Record, August 3, 1922, and August 21, 1924
- [12] Walkowiak D.K. – editor „Isco Open Chanel Flow Measurement Handbook” Sixth Edition

- [13] „Water Measurement Manual” a water resources technical publication A guide to effective water measurement practices for better water management U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation
- [14] Dąbrowski W. „Oddziaływanie sieci kanalizacyjnych na środowisko” Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej Kraków 2004
- [15] Dąbrowski W., Bąk J. „Możliwości alternatywnych pomiarów natężenia przepływu w kanalizacji sposobem na obniżenie kosztów monitoringu systemów odprowadzania ścieków” – maszynopis
- [16] Yannopoulos P.C., Demetrapoulos A.C., Hadjitheodorou Ch. „Quick method for open – Chanel discharge measurements rising air bubbles” Journal Of Hydraulic Engineering ASCE June 2008
- [17] Yannopoulos P.C., Demetrapoulos A.C., Hadjitheodorou Ch. “ River discharge measurements with rising air bubbles” Proc., 4<sup>th</sup> Conf. Environmental Science and Technology, vol.B, Th.Lekas,ed., Molybos Lesbos, Greece, Univ. of the Aegean, Dept. of Environmental Studies, Mytilini, Lesvos, Greece, 389 – 398
- [18] Sargent D.M. „The rising air float technique for the measurement of stream discharge” Advances in Hydrometry, Proceedings of the Exeter Symposium, July 1982, IAHS Publ. no 134.