

# Próba oceny metod i urządzeń do pomiaru przepływu ścieków

Florian G. Piechurski

**P**omiar przepływu należy do najczęściej wykonywanych i najważniejszych pomiarów w gospodarce wodno-ściekowej. Pomiary te dokonywane są od miejsca poboru wody aż do jej odprowadzenia w formie ścieków do oczyszczalni.

Każdy obiekt gospodarki wodno-ściekowej zobligowany jest do rozliczania się z objętości odprowadzanych ścieków, a wynika to z obowiązujących aktów prawnych:

- Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz. U. nr 62, poz. 627m z późniejszymi zmianami);
- Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie opłat za korzystanie ze środowiska (Dz. U. nr 130/01 poz. 1453);
- Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 r. (Dz. U. nr 115, poz. 1229, z późniejszymi zmianami).

Objętości doprowadzanej wody do odbiorcy rozliczane są na podstawie odczytów z wodomierzy i właśnie w taki sam sposób rozlicza się objętość odprowadzanych ścieków. Jednakże w przypadku większych objętości ścieków oraz miejsca pomiaru innego niż instalacja domowa rozliczenie za odprowadzone ścieki nie jest proporcjonalne do objętości doprowadzanej wody i w związku z tym stosowane są takie urządzenia, jak np. przepływomierze.

Problem w sieciach kanalizacyjnych stanowią osady oraz filmy, które tworzą się w kanałach, a prowadzą one do nieprawidłowych wyników, jak również mogą wpływać na przerwy w czasie wykonywania pomiaru. Ze względu na to bardzo ważne jest miejsce dokonywanego pomiaru zarówno w odniesieniu do natężenia przepływu, jego objętości czy też prędkości.

Znajomość rzeczywistej objętości powstających ścieków ma bardzo ważne znaczenie, ponieważ umożliwia prawidłowe zaprojektowanie, eksploatację, modernizację kanalizacji, przepompowni, oczyszczalni ścieków i innych obiektów sytemu gospodarki ściekowej.

Konieczność pomiaru przepływu ścieków w wielu przypadkach wymuszana jest przez instytucje zajmujące się ochroną środowiska, wiąże się ona również z innymi wymogami np. przy wnioskowaniu o pozwolenie wodno-prawne, określeniu opłaty narzucanej jednostce przy wprowadzaniu ścieków do kanalizacji czy też kontroli tych ścieków z uwagi na szkodliwe substancje przy bezpośrednim i pośrednim wprowadzeniu ścieków do kanalizacji.

## Pomiar przepływu ścieków a wymagania prawne

Pomiar przepływu w odniesieniu do ścieków stanowi nie lada problem, a związane jest to z brakiem uregulowań prawnych. Urządzenia mierzące objętość przepływającej wody, tj. wodomierze, posiadają swoje klasy dokładności oraz wytyczne dotyczące częstości wykonywanej legalizacji.

Decyzją Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej w dniu 31 marca 2004 r. została ustanowiona dyrektywa o przy-

rzędach pomiarowych MID (skrót od *Measuring Instruments Directive*). MID należy do grupy dyrektyw wdrażających system oceny zgodności, który zastępuje dotychczasowy system prawnej kontroli metrologicznej w zakresie zatwierdzenia typu i legalizacji pierwotnej. Pomiar natężenia przepływu ścieków nie jest również ujęty w kategorii „Instalacje pomiarowe do ciągłego i dynamicznego pomiaru objętości cieczy innych niż woda”, jednak zawarte są w niej wytyczne co do klas dokładności instalacji pomiarowych np. gazu. Kolejnym przykładem, który pomija przepływomierze do ścieków, to Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 grudnia 2007 r. w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakres tej kontroli Dz. U. z 2008 r. nr 3, pozycja 13 §7. Problemy wynikają najczęściej w sytuacji, gdy urzędnik wymaga przy danej inwestycji zatwierdzenia typu lub legalizacji przepływomierza do ścieków. Urządzenia pomiarowe mogą posiadać informację „zatwierdzenia typu GUM”, jednak dokument ten nie jest obowiązujący, gdy posiadające je przepływomierze są stosowane do pomiaru natężenia przepływu ścieków. Pomimo tego, że brak jest ustawowo zdefiniowanych sposobów sprawdzenia dokładności wskazań przepływomierzy do ścieków, stawia im się jednak takie wymagania co do dokładności, tak jak ma to odzwierciedlenie w przypadku miejsc pomiarowych na oczyszczalni ścieków. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzeniu ścieków do wód lub ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. z 2006 r. nr 137, poz. 984), wymagana jest określona dokładność pomiaru natężenia przepływu ścieków, zależna od RLM (równoważnej liczby mieszkańców), na którą jest zaprojektowany dany obiekt.

Brak uwarunkowań prawnych co do przepływomierzy ścieków związany jest z bardzo szybko zmieniającymi się warunkami przepływu w kanałach, np. przy odkładaniu się na dnie kanału osadów, które zmniejszają rzeczywiste pole przekroju przepływu, a które to jest podstawą obliczeń wielkości natężenia przepływu. Kolejnym przykładem jest falowanie zwierciadła ścieków spowodowane np. niedokładnym wykonaniem połączeń rur kanałów lub znajdującymi się w kanale zanieczyszczeniami, a co z kolei wpływa na zwiększenie błędu pomiaru przepływu. W praktyce oznacza to, że pomiar przepływu ścieków, szczególnie w kanałach częściowo wypełnionych, praktycznie nie ma możliwości rzetelnego podania błędu pomiaru przed zainstalowaniem i uruchomieniem urządzenia.

## Problemy z prowadzeniem pomiarów

Prowadzenie pomiarów ze względu na specyfikę warunków panujących w kanale nastęrcza wiele trudności. Przepływ w kanałach grawitacyjnych występuje przeważnie w postaci prze-

plywu nieustalonego ze swobodnym zwierciadłem, a w wielu wypadkach niejednostajnego. Poza tym urządzenia są narażone na działanie wysoce agresywnej atmosfery, zalewania ściekami, osadzanie się i zaczepianie na nich części stałych. Ponadto występują znaczne trudności montażowe, takie jak: bardzo ograniczona przestrzeń, parcie dynamiczne przepływających ścieków na montażystę, ograniczenia w stosunku zamocowań, toksyczna i wybuchowa atmosfera (metan, siarkowodór i niskie stężenie tlenu), zagrożenie utopieniem, zakażeniem, upadkiem, uderzeniem, porwaniem przez nurt ścieków pracowników prowadzących montaż urządzeń. Stąd koszty montażu urządzeń pomiarowych są znaczne. Dodatkową trudnością jest potrzeba kalibracji i weryfikacji większości urządzeń, co jest szczególnie skomplikowane w wypadku pomiaru natężenia przepływu. Do tego, urządzenia oferowane przez firmy posiadają wiele niewygodnych ograniczeń i często są nieprzystosowane do ekstremalnych warunków panujących w kanale. Z tych i wielu innych względów nieprofesjonalne podejście do zagadnienia może spowodować uzyskiwanie bardzo niepewnych bądź błędnych wyników pomiarów. Problemem są również koszty wdrożenia monitoringu. Brak wystarczających środków finansowych może mieć wpływ na rozwój systemu monitoringu, a w szczególności może powodować ograniczenie liczby punktów pomiarowych. Przy dużej ofercie urządzeń pomiarowych ważne jest, by dopasować właściwą metodę pomiaru do warunków w przewidzianym miejscu pomiarowym. Urządzenia pomiarowe wykorzystywane w systemach odprowadzania i oczyszczania ścieków powinny charakteryzować się odpowiednią dokładnością oraz sprawnością, która niestety sukcesywnie maleje w czasie eksploatacji, wpływając negatywnie na jakość pomiaru. Dlatego by uniknąć chybionych inwestycji w drogie urządzenia, należy zdefiniować cele pomiarowe wynikające z uregulowań prawnych i wymagań eksploatacyjnych. Z podobnym problemem monitoringu, lecz o większym skomplikowaniu ze względu na opady atmosferyczne, spotykamy się przy sieciach kanalizacji deszczowej bądź ogólnospławnej, gdzie konieczne jest jednak pozyskiwanie danych wejściowych do modeli symulacyjnych w postaci scenariuszy opadów.

### Przepływomierze ultradźwiękowe

Pomiar ultradźwiękiem należy do metod o dość niskim nakładzie finansowym. Ekonomia stosowania tego urządzenia wynika z braku konieczności budowy dodatkowych komór pomiarowych, jak również nie są konieczne prace w dużym zakresie w samym kanale. Koszty przepływomierzy dla kanałów o małych średnicach są porównywalne z przepływomierzami elektromagnetycznymi, dla kanałów o średnicach większych od 0,5 m nie rosną praktycznie wraz ze średnicą. Metody pomiaru przebiegu czasu fali dźwiękowej stosowane na rurociągach ciśnieniowych całkowicie eliminują kontakt ze ściekami, jak również umożliwiają montaż urządzenia bez konieczności przerywania eksploatacji. Ze względu na zasadę działania, na której bazuje przepływomierz ultradźwiękowy (różnicy czasów przebiegu dwóch impulsów dźwiękowych w przepływającej cieczy na określonym odcinku, jeden z impulsów kierowany jest w kierunku płynącej cieczy, a drugi w kierunku przeciwnym, z pomiaru różnicy czasów określa się prędkość przepływu) pomiar może okazać się nieefektywny, gdy występuje znaczne tłumienie fali ultradźwiękowej, co z kolei prowadzi do małej aplikacji sygnału, który przekazywany jest do odbiornika.

Montaż przepływomierza nie wymaga zmiany średnicy badanego przekroju (tak jak jest to np. przy zwężkach). Specyficznym zjawiskiem występującym w przewodach kanalizacyjnych w odróżnieniu od przewodów wodociągowych jest powstawanie znacznej grubości warstw osadu, które nieuchronnie prowadzą do zmiany średnic wewnętrznej przewodów, a tym samym wpływają na dokładność wykonywanego pomiaru, a związane jest to z tym, że pomiar przepływomierzem wymaga dokładnej znajomości średnicy wewnętrznej rury.

Charakterystyczną cechą tych przepływomierzy jest również długotrwała stabilność, tzw. linearność w szerokim zakresie mierzonych wartości. Poza przepływomierzami stacjonarnymi występują na rynku przepływomierze przenośne. Stosowane są one zarówno w kanałach częściowo i całkowicie wypełnionych, kanałach otwartych oraz korytach o różnej geometrii. Zaletą tych urządzeń jest brak konieczności zasilania sieciowego ze względu na to, że wyposażone są one w akumulator lub baterię. Na rynku znaleźć można wiele przenośnych urządzeń ultradźwiękowych, działają one na zasadzie korelacji krzyżowej, co eliminuje konieczności kalibracji takiego urządzenia.

Dla przepływomierzy opartych na efekcie Dopplera dokładność pomiaru uzależniona jest od głębokości, a wiąże się to z zasięgiem wiązki. Przy małej głębokości przenikania urządzenia, pomiar może okazać się niepewny. Przykrycie sondy w kanałach częściowo wypełnionych nie powinno być mniejsze od 3 cm, w innym przypadku może dojść do jej wynurzenia. Błędy wskazań przepływomierzy ultradźwiękowych wahają się w zakresie od  $\pm 0,5$  do  $\pm 3\%$ .

### Przepływomierze elektromagnetyczne

Przepływomierze elektromagnetyczne zapewniają pomiar natężenia przepływu dla wszystkich mediów przewodzących, począwszy od agresywnych cieczy aż po ścieki bytowo gospodarcze. Pozwalają one na pomiar natężenia przepływu niezależnie od zmian gęstości, temperatury, ciśnienia czy też lepkości. Pomiar przepływu może być wyznaczony tylko dla medium o określonej przewodności, jak również ważne znaczenie ma brak bąbelków gazu w cieczy. W odróżnieniu od ultradźwięków, w elektromagnetykach wymagane jest bezwzględne wypełnienie kanału. W przypadku gdy istnieje możliwość powstania pustek powietrznych pomiaru, należy dokonać na rurze wznoszącej lub dolnej części kolana przewodu, bardzo często też stosowane są syfony, jednak to podnosi koszt inwestycji. Na dokładność wykonywanych pomiarów mają również wpływ tworzące się osady wewnątrz przewodu, jednak gorsza sytuacja występuje, gdy ów osad osiada na elektrodach pomiarowych – ma to najczęściej związek z niewielką prędkością przepływu. Tworzący się osad na elektrodach może prowadzić do krótkotrwałych spięć napięcia. Nie posiadają one wewnętrznych elementów mechanicznych, dzięki czemu przepływ medium jest niezakłócony. Błąd pomiaru dla przepływu poniżej 10% pełnego zakresu wynosi 0,5%, natomiast już przy przepływie większym od 10% błąd ten zmniejsza się do 0,05%.

### Koryta pomiarowe i przelewy

Przy wykorzystaniu koryt i przelewów brak jest konieczności pomiaru prędkości. Ze względu na prostą budowę, koszty są niewielkie. Pomiar przy zmiennym przepływie nie jest dokładny, jednak stały przepływ pozwala na uzyskanie dokładnych

pomiarów (DIN 19559). Pomiar nie jest również wiarygodny, gdy przy niewielkich przepływach dochodzi do tworzenia się osadów. Przelewy miernicze wymagają dużo miejsca do jego zainstalowania. W przelewach istnieje możliwość wystąpienia cofek, w takim przypadku należy dokonać więcej niż jednego pomiaru. W przypadku koryt może dojść do podtopienia odpływu, co również prowadzi do zafałszowania pomiaru lub wymaga dodatkowego pomiaru wysokości zwierciadła medium poniżej przekroju pomiarowego.

Przy zastosowaniu koryt przenośnych Venturiego należy zwrócić uwagę na rodzaj przepływu, ze względu na to, że przeprowadzony pomiar będzie właściwy, jeśli występuje przepływ spokojnego na stanowisku pomiarowym, a zmiana stanu przepływu ze spokojnego w rwący następuje w korycie pomiarowym. Zaletą koryt przenośnych jest dokładność pomiaru wahająca się  $\pm 5\%$ .

Pomiar ten nie jest uzależniony od rozkładu prędkości w przekroju pomiarowym, gdyż istnieje określony przekrój wykonywanego pomiaru. Koryta przenośne jednak wymagają odpowiedniego spadku kanału, który nie powinien być mniejszy od 1%, odpowiedni spadek jest konieczny ze względu na wywołanie zmiany stanu przepływu. Tak jak istnieją przenośne koryta, tak samo na rynku można spotkać przenośne przelewy miernicze. Jednak stosowane są one tylko na kanałach prostokątnych. Występuje tutaj również zagrożenie osadzania się zawiesin w rejonie dopływu, ze względu na to zalecane jest okresowe stosowanie przelewów.

## **Pomiar w kanałach otwartych**

### **1. Metoda „prędkość – powierzchnia”**

#### **1.1 Przy wykorzystaniu młynka hydrometrycznego**

Wszystkie techniki stosowane w metodzie „prędkość – powierzchnia” muszą spełniać warunki: brak prądów skośnych w profilu pomiarowym, regularność kanału przepływowego powyżej i poniżej strefy pomiarowej oraz względny brak wegetacji roślinności. W metodzie tej nie ma wpływu szerokość mierzonego kanału, jednak należy zwrócić uwagę na czas pomiaru, który powinien być krótki. Jak najkrótszy czas pomiaru pozwala na założenie niezmienności poziomu napełnienia kanału w trakcie trwania pomiaru. Młynki hydrometryczne mają mierzalny zakres prędkości 0,15–2,5 m/s.

#### **1.2. Przy wykorzystaniu pływaka**

Metoda ta stosowana jest dla kanałów dużych i średnich, tzn. takich których szerokość przekracza 5 m. Bardzo ważną rolę w metodzie pływakowej odgrywa pogoda, a dokładniej wiatr, który przy silnej prędkości może znacznie wpłynąć na swobodny ruch pływaka. Metody pływakowe są stosowane zazwyczaj w celu długookresowych obserwacji ruchu mas wody, np. w jeziorach, jak również w miejscach, gdzie przepływ wody jest niewielki, np. dla pomiaru spływu kry lodowej. Warunki dotyczące procedury pomiarowej opisane są w ISO 748.

### **2. Metoda „spadek – powierzchnia”**

Dla rzetelnych i miarodajnych wyników pomiaru koryto cieku – kanału wodnego powinno spełniać warunki: brak prądów skośnych w profilu pomiarowym, regularność kanału przepływowego powyżej i poniżej strefy pomiarowej oraz względny brak wegetacji roślinności. Metoda ta stosowana jest w kanałach o szerokości powyżej 5 m i głębokości przekraczającej 1 m,

jednak zasadniczo poleca się stosowanie metody „spadek – powierzchnia” na odcinkach o długości większej od 300 m i różnicy poziomu zwierciadła wody minimum 0,15–0,3 m.

Tak samo jak w metodzie pływakowej, niepewność uzyskanych wyników wynosi  $\pm 10\%$ . Warunki dotyczące procedury pomiarowej opisane są w ISO 1070.

### 3. Metoda rozcieńczenia wskaźnika

Metoda ta stosowana jest w płytkich ciekach – kanałach o przepływie turbulentnym lub o znacznej prędkości przepływu. Zaleca się, aby pomiar dokonywany był na rzekach o przepływie nieprzekraczającym  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ . W związku z tym, że metoda ta polega na wprowadzeniu do rzeki wskaźnika. Istnieje znaczna ilość procedur pomiarowych oraz ograniczeń wynikających z ochrony środowiska. Szkodliwość dozowanego wskaźnika powoduje, że należy zwrócić uwagę na to, by posiadał on zdolność rozpuszczania się w wodzie, jak również nie powinien być absorbowany przez podłoże – koryta cieków, nie powinien reagować chemicznie z podłożem, ani być czuły na zmiany temperatury czy też oświetlenia naturalnego. W związku z ochroną środowiska zwraca się szczególną uwagę na to, by stosowany wskaźnik nie miał szkodliwego wpływu na faunę oraz florę. Niepewność pomiaru wynosi  $\pm 3\%$ . Warunki dotyczące procedury pomiarowej opisane są w ISO 555<sub>1</sub>, 555<sub>2</sub>, 555<sub>3</sub>.

### 4. Metody spiętrzeniowe i zwężkowe

Głównym miejscem stosowania metod spiętrzeniowych i zwężkowych są kanały zrzutowe, niewielkie ciekły oraz kanały melioracyjne. Przelewy miernicze cienkościenne stosuje się w przypadku cieków – kanałów o szerokości do 5 m i głębokości poniżej 1 m, niepewność pomiaru nie przekracza  $\pm 3\%$ . Natomiast dla przelewów o szerokiej koronie niepewność wynosi  $\pm 5\%$ , przelewy te stosowane są dla cieków – kanałów o szerokości 50 m i głębokości 1 m, takie same zakresy stosowania dotyczą koryt. W przypadku przelewów swobodnych zakres stosowania obejmuje ciekły o szerokości do 50 m i głębokości nieprzekraczającej 5 m, niepewność pomiaru wynosi tutaj  $\pm 10\%$ . Główną wadą tej metody jest konieczność wprowadzenia do kanału przegrody, a tym samym zmiana jej przekroju poprzecznego.

### 5. Metody ultradźwiękowe

W odróżnieniu od metod zwężkowych na dokładność pomiaru nie ma wpływu występująca cofka, ze względu na to wykonywany pomiar może być wykorzystany do pomiarów przepływu w kanałach o zmiennym kierunku. Pomiar odbywa się w sposób ciągły, monitorowana jest nawet chwilowa zmiana prędkości. Zakres mierzonych prędkości jest bardzo duży od milimetrów na sekundę do braku granicy górnej. Ultradźwięki zapewniają dokładny pomiar, dla cieków naturalnych wynosi on ok. 1%. Nie wymagają okresowej kalibracji. Lokalizacja urządzeń pomiarowych nie wpływa na kształt cieków, tzn. brak jest deformacji profilu przepływu przez obecność urządzeń pomiarowych. Kanały objęte pomiarem mogą mieć szerokość nawet 500 m. Jedynym limitem przy szerokości pomiarowej jest tłumienie fal przez środowisko, w którym dochodzi do rozchodzenia się fali ultradźwiękowej. Pomimo wielu zalet metod ultradźwiękowych posiadają one również wady. Największym problemem jest wpływ gradientu temperatury lub stopnia zasolenia wzdłuż drogi przebiegu wiązki ultradźwiękowej. Sygnał

wysyłany przez urządzenie może być również tłumiony przez zawiesiny występujące w wodzie. Wpływ na dokładność wykonywanych pomiarów może mieć ruch dna cieków, ruch ten powoduje zmianę charakterystyki przekroju pomiarowego, a co się z tym wiąże – prowadzi do błędów w wyznaczeniu przepływu.

### 6. Metody elektromagnetyczne

Procedury pomiarowe dla elektromagnetyków oraz ultradźwięków zawarte są w normie PN-EN ISO 6817 oraz ISO 9213. Metoda elektromagnetyczna należy do metod dość skomplikowanych, jak również kosztownych. Główna zaleta, która odróżnia elektromagnetyki od innych urządzeń, jest możliwość pomiaru zarówno w pionie, jak i w poziomie. Na dokładność pomiaru nie ma wpływu również roślinność wodna, zmiany temperatury oraz ruch dna. Jedną z najistotniejszych zalet tych urządzeń jest ich szeroki zakres pomiarowy, nie wprowadzają one do przekroju kanału żadnych elementów wpływających na jego przekrój. Dokładność pomiaru dla czystej wody jest bardzo duża, jednakże w przypadku pomiaru ścieków dokładność elektromagnetyków znacznie maleje. Dokładności pomiarów przepływu ścieków maleje wraz z ich zagęszczeniem się i kończy na osadzie odwodnionym o dużej gęstości, jaki powstaje na wylocie z oczyszczalni ścieków. Błąd pomiarowy nie przekracza 3%. Stosuje się je na rzekach, których szerokość nie przekracza 20 m. Lokalizując urządzenie, należy zwrócić uwagę na obecność linii energetycznych, gdyż powodują one zniekształcenie pola magnetycznego.

### Podsumowanie

Wykonywanie pomiarów przepływu związane jest z wymogami, jakie stawiają nam m.in.: Ustawy: „Prawo wodne”, „Prawo ochrony środowiska”, „Zbiorowe zaopatrzenie w wodę i zbiorowe odprowadzanie ścieków” oraz w Rozporządzeniach Rady Ministrów „w sprawie opłat za korzystanie ze środowiska” i Zarządzenia Prezesa Głównego Urzędu Miar. Jednakże przepisy nie wymieniają urządzeń pomiarowych objętości czy natężenia przepływu do ścieków jako urządzeń podlegających kontroli, pomimo tego ścieki jako „towar” zobowiązują do wykonywania pomiaru w celach rozliczeniowych. „Ustawa o zbiorowym...” mówi, że można rozliczać ścieki wg wskazań urządzeń pomiarowych. Jednak ustawa nie wymienia żadnych cech urządzeń pomiarowych, a zatem teoretycznie nie ma żadnych ograniczeń przy wyborze urządzenia. Zapisy określające cechy „ściekomierzy” – urządzeń do pomiarów objętości – natężenia, są określone w „warunkach technicznych” wydawanych przez zakłady oczyszczalni ścieków, o ile osoba odprowadzająca ścieki wystąpi o taki warunek. Rodzaj zastosowanych urządzeń pomiarowych jest zależny od kosztów inwestycyjnych oraz czasu amortyzacji inwestycji, czyli ogólnie od podejścia ekonomicznego. Najczęściej objętość odprowadzanych ścieków wyznaczana jest na podstawie wskazań wodomierza, jednak bardzo często pojawia się problem wynikający z tego, że zakład wodociągowy nie chce rozliczać na podstawie wskazań tego urządzenia, a wiąże się to z wodami deszczowymi, infiltracją, jak również własnym ujęciem wody u odbiorcy.

Pomiar przepływu ma bardzo ważne znaczenie przy projektowaniu oczyszczalni ścieków, sieci kanalizacyjnych urządzeń – pompowni. Pomiar wykonywany jest na kanałach całkowicie lub częściowo wypełnionych przewodach grawitacyjnych lub

Tabela 1. Zestawienie metod pomiarowych przepływu

I.p.	Metoda	Szacunkowy błąd względny pomiaru natężenia przepływu [Q]	Zastosowanie	
1.	Sondy ultradźwiękowe (Q-loggery)	1,5%	Najpopularniejsze urządzenia przenośne do pomiarów w przewodach kanalizacyjnych, wymagają napełnienia od 10 cm do 4 m	
2.	Obliczenia oparte na pomiarze wysokości	Wysoki lub bardzo wysoki	Wymaga kanału w bardzo dobrym stanie	
3.	Podstawionego naczynia	<1%	Jedynie dla małych natężeń przepływu i przy swobodnym wypływie	
4.	Koryta zwężkowe	Venturiego	2–6%	Zależnie od Q
		Palmera-Bowlusa	2–6%	Zależnie od Q
		Parshalla	2–6%	Zależnie od Q
5.	Krzyż miernicze		Dla ścieków nie stosuje się	
6.	Przeptywomierze elektromagnetyczne	1–2%	Niemal wyłącznie dla przewodów ciśnieniowych	
7.	Zwężki Venturiego		Wyłącznie dla przewodów ciśnieniowych	
8.	Przelewy o ostrych krawędziach	4%	Uciążliwe w eksploatacji	
9.	Rurka Torricellego		Jedynie pomiar orientacyjny i przez chwilę	
10.	Młynek hydrometryczny		Jedynie dla oszacowania, czy inna metoda pomiaru nie daje bardzo nieprawidłowych wyników	
11.	Rura kalifornijska	10%	Tylko tam gdzie jest swobodny wypływ	
12.	Pływaki	15%	Nie należy stosować powierzchniowych	
13.	Znaczniki	Duży	Stosowanie sporadycznie	

ciśnieniowych, a także w kanałach otwartych, począwszy od małego strumyka po rozległe rzeki. W zależności od miejsca dokonywanego pomiaru stosuje się różne metody i urządzenia, tj. wodomierze, przepływowomierze ultradźwiękowe i elektromagnetyczne, a także zwężki, koryta i przelewy. Jednym z bardziej ekonomicznych i sprawdzonych rozwiązań jest pomiar w oparciu o metody spiętrzeniowe z wykorzystaniem np. ultradźwięku. Każde z tych urządzeń oraz metod posiada zarówno swoje wady jak i zalety. Zastosowanie monitoringu objętościowego powinno być podstawą działania każdego systemu kanalizacyjnego. Monitoring sieci umożliwia szybkie reagowanie w przypadku wykrytego wycieku, jak również kontrolę prawidłowego działania systemu kanalizacyjnego. Pomiar objętości ścieków np. za pomocą przepływowomierza stanowi podstawę do wyznaczenia opłat za odprowadzane ścieki. Urządzenia pomiarowe pozwalają również na wykrycie nielegalnego odprowadzenia ścieków do kanalizacji.

Poza wykorzystaniem urządzeń pomiarowych w sieciach kanalizacyjnych, urządzenia te stosowane są również w instalacjach wewnętrznych, gdzie np. za pomocą wskazań wodomierza wyznacza się opłatę za pobraną wodę i odprowadzone ścieki. Dobór urządzenia pomiarowego uzależniony jest od rodzaju medium, jego zanieczyszczenia oraz warunków, w jakich ma zostać dokonany pomiar, jednakże najważniejsze jest wybranie odpowiedniego miejsca pomiarowego, co wiąże się nieodzownie z uzyskaniem prawidłowych wyników pomiarowych, gdyż nawet najlepsza metoda pomiarowa dostarczy tylko tak dobre wyniki, jak dobre jest miejsce pomiarowe.

Mając na uwadze optymalną eksploatację całego systemu kanalizacyjnego, należy stwierdzić, że jego modernizacja w Pol-

sce jest obecnie zadaniem pilnym, wynikającym z konieczności spełnienia nowych standardów unijnych, a w szczególności dyrektywy 2000/60/WE, zwanej Ramową Dyrektywą Wodną. Monitorowanie sieci kanalizacyjnej niesie ze sobą wiele korzyści, umożliwia optymalną eksploatację i dostarcza informacji pozwalających sterować całym systemem. Zgromadzone wyniki pomiarów użyte do kalibracji modeli symulacyjnych przyczyniają się do powstania wartościowego narzędzia do wspomaganie projektowania nowych elementów i odnawiania istniejących. Mimo kosztowności przedsięwzięcia efekty poprawnego funkcjonowania będą widoczne już po krótkim czasie. Monitoring sieci kanalizacyjnych jest zadaniem, które w każdym przypadku wymaga osobnego opracowania, gdyż każda sieć kanalizacyjna jest inna. System kanalizacyjny nie powinien stanowić zagrożenia zarówno dla odbiornika, jak i samej zlewni miasta. W tym celu musi być aktywny (sterowalny) i odciążony pod względem hydraulicznym oraz monitorowany w sposób ciągły. W szczególnym przypadku systemu zbierającego ścieki opadowe rozszerzeniu musi ulec wielkość retencji lokalnej i scentralizowanej oraz zminimalizowana aktywność przelewów burzowych. W projektowaniu kanalizacji i oczyszczalni ścieków musi być uwzględniona wzajemna współzależność, w tym rola kanałów jako reaktorów fizycznych i biochemicznych. Prognozowanie funkcjonowania systemu kanalizacyjnego musi być oparte na skalibrowanym i zweryfikowanym modelu komputerowym uwzględniającym uaktualnione dane urbanistyczne i demograficzne. Takie podejście do problemu umożliwi łatwiejsze uzyskiwanie wsparcia finansowego UE w ramach rozmaitych działań promocyjnych związanych z propagowaniem zrównoważonego rozwoju.

## Literatura

- [1] ERB HEINE G.: *Technika pomiarów przepływu wody i ścieków*. Wyd. „Seidel – Przywecki”, Warszawa 1999.
- [2] MICHALSKI A.: *Pomiar przepływu wody w kanałach otwartych*. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
- [3] WALKOWIAK D.K.: *Isco open Chanel flow measurement handbook*. – Wyd. Isco, Lincoln USA 2006.
- [4] HAGER W. H.: *Abwasserhydraulik*. Wyd. Springer, Berlin 1994.
- [5] MICHALSKI A.: *Wybrane problemy syntezy przetworników pierwotnych przepływomierzy elektromagnetycznych dla kanałów otwartych*. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
- [6] WALUŚ S.: *Ultradźwiękowe pomiary strumienia objętości wody w rurociągach i kanałach otwartych*. Politechnika Śląska, Zeszyty Naukowe 1075, Gliwice 1990.
- [7] HERCHY R.W.: *Hydrometry*. John Wiley & Sons, New York 1978.
- [8] UJDA K.: *Metody integracji prędkości powierzchniowej w pomiarze natężenia przepływu wody*. Wiadomości Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej tom IV 1978.
- [9] LIPTAK B.G.: *Flow Measurement*. Wyd. Chilton Book Company, Pensywanja 1993.
- [10] WALUŚ S.: *Przepływomierze ultradźwiękowe – metodyka stosowania*. Wyd. Politechnika Śląska, Gliwice 1997.
- [11] ŚLIWIŃSKI A.: *Ultradźwięki i ich zastosowanie*. Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.
- [12] WOŹNIAK R.: *Dokładność poszukiwana*. „Magazyn instalatora” 12/2008. s. 56–57.
- [13] WOŹNIAK R.: *Przelew z wydatkiem*. „Magazyn instalatora” 12/2007. s. 56–57.
- [14] KACZOR G., PAWELEK J.: *Pomiary natężenia przepływu ścieków w wybranych oczyszczalniach województwa małopolskiego*. „Inżynieria Rolnicza” 3/2002. s. 239–250.
- [15] WOŹNIAK R.: *Metody pomiaru przepływu w sieciach kanalizacyjnych*. V Ogólnopolska konferencja naukowo-szkoleniowa Kielce 2007.
- [16] WARTALSKI A.: *Pomiar natężenia przepływu ścieków w kanalizacji bytowo-gospodarczej*. „Ochrona Środowiska” 10/1986. s. 99–101.
- [17] NOWAK T.: *Urządzenia pomiarowe – wymagania dotyczące realizacji układów pomiarowych przepływu ścieków w przewodach otwartych*. Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Krakowie.
- [18] WOŹNIAK R.: *Radar contra profiler*. „Magazyn instalatora” 7–8/2008. s. 50–51.
- [19] RISTENPART E.: *Niderschlag Abfluss Messungen. Materiały konferencyjne Technische Akademie Hannover*, Münster 21.06.2006.
- [20] CHIPALSKI J., DENCZEW S.: *Pomiary ilości ścieków*. „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 7/1996, s. 267–270.
- [21] WOŹNIAK R., NIEDZIEMSKI G.: *Problematyka wdrażania monitoringu hydraulicznego sieci kanalizacyjnej*. I Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy zagospodarowania wód opadowych”, Wrocław 2008.
- [22] WOŹNIAK R.: *Dobór stanowisk pomiaru przepływu w kanalizacji*. „Forum eksploatatora” 3–4/2009, s. 33–36.
- [23] WEIB G., HAUBLER D.: *Wyposażenie zbiorników na wody opadowe, Wody opadowe – status prawny, opłaty, technologie*. Seminarium Gdańskiej Fundacji Wody – Gdańsk Sobieszewo, 04. 2006.
- [24] WOŹNIAK R.: *Czułość w kanale*. „Magazyn instalatora” 9/2008. s. 52–54.
- [25] WOŹNIAK R., OSIŃSKI A.: *Monitoring sieci kanalizacyjnej w Gdańsku*. „Wodociągi i Kanalizacja” 5/2008. s. 100–103.
- [26] WOŹNIAK R., OSIŃSKI A.: *Pomiar wypełnień i przepływu w kanalizacji jako podstawa monitoringu sieci kanalizacyjnej*. Opis dobrej współpracy na przykładzie pomiarów wykonanych na terenie Gdańska. VII konferencja naukowo-techniczna Szczyrk 2008.
- [27] KWIECINIEWSKI M., LEŚNIEWSKI M.: *Wybrane zagadnienia planowania monitoringu przepływów sieciach kanalizacyjnych*. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 46 – VI Zjazd Kanalizatorów Polskich POLKAN’07 2007.
- [28] WOJCIWICZ P.: *Politechnika Wroclawska, Materiały dydaktyczne – Pompownie*.
- [29] RÓŻDZYŃSKI K.: *Miernictwo hydrologiczne – IMiGW Warszawa 1998*.
- [30] BONFIG K.W.: *New defelopments in magnetic flow measurement in partly filled open channel – ACTA IMECO Berlin 1982*.
- [31] HERCHY R.W.: *HYDROMETRY: Principles and practices*. Department od the Environment Water Data Unit 1978.
- [32] MICHALSKI A., JAKUBOWSKI J., STAROSZCZYK Z.: *Analiza technik przetwarzania sygnałów w przepływomierzach elektromagnetycznych do kanałów otwartych*. VI Szkoła Konferencja Metrologia Wspomagana Komputerowo – Waplewo maj 2003.
- [33] SHERCLIFF I.A.: *The theory of electromagnetic flow measurement*. Cambridge University Press 1962.
- [34] HERCHY R.W.: *Streamflow Measurement – Elsevier Applied Science Publishers, London 1995*.
- [35] NEWMAN I.D.: *Electronic methods of river gauging – System Technology No. 25/1976*.
- [36] NEWMAN I.D.: *Princes Marsh electromagnetic gauging station on the river Rother 1974*.
- [37] RÓŻDZYŃSKI K.: *Metody hydrometrii ultradźwiękowej – PAN, IBW Gdańsk 1984*.
- [38] UJDA K.: *Niektóre aspekty metod pomiaru natężenia przepływu wody w korytach otwartych*. Sympozjum IMGiW oraz KBM PAN Gdańsk 1983.
- [39] TOMITA T., OKAMOTO T., HIRAI R., KUROKAWA T.: *Development o fan electromagnetic flowmeter on noise reduction*. Fluid Control and Measurement, 2/1992 Oxford England.
- [40] MICHALSKI A.: *Flow measurements in irrigation channel*. Instrumentation and Measurement Magazine No 1/2006 March.
- [41] KASPRZAK K.: *Integracyjne metody pomiarów przepływu*. IMGW, Warszawa 2003.
- [42] GREEK M.T., HERSHEY R.W.: *Site calibration of electromagnetic and ultrasonic river gauging stadion*. Seminar WMO Modern developments in hydrometry, September 1975 Italy, Padwa.
- [43] BODZIONY M.: *Hydrologia materiały pomocnicze*. Politechnika Krakowska Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej Zakład Hydrologii.
- [44] MAZURKIEWICZ K.: *Monitoring systemów usuwania i unieszkodliwiania ścieków*. „Wodociągi i Kanalizacja” 5(51)/2008, s. 94–99.

## Rozporządzenia i normy

- Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE z dnia 23.10.2000 r.
- Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz. U. nr 62, poz. 627 z późniejszymi zmianami).
- Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie opłat za korzystanie ze środowiska (Dz. U. nr 130/01 poz. 1453).
- Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 r. (Dz. U. nr 115, poz. 1229, z późniejszymi zmianami).

- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 grudnia 2007 r. w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli (Dz. U. nr 3 z 2008 r., poz. 13).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 października 2007 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać wodomierze oraz szczegółowego zakresu sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych (Dz. U. nr 209, poz. 1513).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla przyrządów pomiarowych (Dz. U. nr 3 z 2007 r., poz. 27).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzeniu ścieków do wód lub ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska (Dz. U. nr 137 z 2006r., poz. 984).
- Ustawa z dnia 15 grudnia 2006 r. o zmianie ustawy o systemie zgodności oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. nr 3 z 2007 r. poz. 27).
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/22/WE w sprawie przyrządów pomiarowych (Dz. U. UE L 135 z 30.04.2004 r. P. 0001–0080).
- Ustawa Prawo o miarach z dnia 11 maja 2001 r. (Dz. U. nr 63, poz. 636 ze zm., w szczególności dziennik nr 141 z 2004r., poz. 1493).
- Ustawa o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzeniu ścieków z dnia 7 czerwca 2001 r. (Dz. U. 72, poz. 747 ze zm.).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 7 stycznia 2008 r., w sprawie prawnej kontroli meteorologicznej przyrządów pomiarowych (Dz. U. nr 5, poz. 29).
- Ustawa z dnia 15 grudnia 2006 r. o zmianie ustawy o systemie zgodności oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. nr 249, poz. 1834).
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12.03.2009 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody (Dz. U. nr 8, poz. 70) – Rozporządzenia Ministra Budownictwa z dnia 18 czerwca 2006 r. w sprawie określenia taryf, wzoru wniosku o zatwierdzenie taryf oraz warunków rozliczenia za zbiorowe zaopatrzenie w wodę o zbiorowe odprowadzenie ścieków (Dz. U. nr 127, poz. 886).
- PN-EN 752-2: 2000 Zewnętrzne systemy kanalizacyjne. Wymagania.
- PN-ISO 4064-1:1997 Pomiar objętości wody w przewodach – Wodomierze do wody pitnej zimnej – Wymagania.
- Norma PN-EN 14154 Wodomierze, część 1, 2 i 3.
- PN-EN ISO 6416:2006 Hydrometria – Pomiar natężenia przepływu metodą ultradźwiękową (akustyczną).
- PN-EN ISO 748:2001 Pomiary przepływu w korytach otwartych – Metody prędkość-powierzchnia.
- PN-EN ISO 748:2007 Hydrometria – Pomiary przepływu w kanałach otwartych z użyciem młynków hydrometrycznych lub pływaków.
- PN-ISO 1070:2001 Pomiary przepływu w korytach otwartych – Metoda spadek – powierzchnia.
- PN-ISO 1088:2005 Pomiary przepływu w korytach otwartych – Metody prędkość-powierzchnia – Zbieranie i przetwarzanie danych do określania błędów pomiaru.
- PN-ISO 14139:2004 Pomiary hydrometryczne – Pomiary przepływu w korytach otwartych z wykorzystaniem budowli - Złożone budowle pomiarowe.
- PN-ISO 4359 Pomiary przepływu cieczy w korytach otwartych – Koryta pomiarowe prostokątne, trapezowe i U-kształtne.
- PN-ISO 4359:2007 Pomiary przepływu cieczy w korytach otwartych – Koryta pomiarowe prostokątne, trapezowe i U-kształtne.
- PN-ISO 4364:2005 Pomiary przepływu w korytach otwartych. Pobieranie próbek materiału dennego.
- PN-ISO 4364:2005/Ap1 Pomiary przepływu w korytach otwartych. Pobieranie próbek materiału dennego.
- PN-ISO 4364:2005/Ap1:2005 Pomiary przepływu w korytach otwartych – Pobieranie próbek materiału dennego.
- PN-ISO 4369:2005 Pomiary przepływu w korytach otwartych – Metoda ruchomej łodzi.
- PN-ISO 4373 Pomiary przepływu w korytach otwartych. Urządzenia do pomiaru poziomu wody.
- PN-ISO 4373:2004 Pomiary przepływu w korytach otwartych – Urządzenia do pomiaru poziomu wody.
- PN-ISO 6416:2001 Pomiary przepływu w korytach otwartych. Pomiar natężenia przepływu metodą ultradźwiękową (akustyczną).
- PN-ISO 9826 Pomiary przepływu w korytach otwartych. Koryta pomiarowe Parshalla i SANIIRI.
- DIN 19559 cz. 1 i 2 – Durchflussmessung von Abwasser In offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen 1983.

doc. dr inż. Florian G. Piechurski – Instytut Inżynierii Wody i Ścieków Politechniki Śląskiej w Gliwicach