

OGÓLNA INFORMACJA DOTYCZĄCA URZĄDZENIA POMIAROWEGO DO POMIARU ILOŚCI ODPROWADZANYCH ŚCIEKÓW

Wymagania dotyczące realizacji stacjonarnych układów pomiarowych przepływu ścieków w przewodach otwartych

Ciągłe pomiary przepływu cieczy w przewodach otwartych realizowane są w praktyce inżynierskiej dwoma metodami pomiarowymi, tj. metodą spiętrzeniową oraz metodą prędkość – wypełnienie. Podstawowe informacje techniczne odnośnie obu wymienionych metod pomiarowych zawarto w kolejnych podrozdziałach.

Metoda spiętrzeniowa

Metoda pomiarowa zakłada wbudowanie w nurcie swobodnie przepływających ścieków przeszkody w formie elementu piętrzącego (stanowiącego element pierwotny układu pomiarowego), powodującego spiętrzenie cieczy w strefie dopływowej do tego elementu. Chwilowa wartość przepływu cieczy przez element piętrzący jest funkcją poziomu cieczy w określonym przekroju pomiarowym przed tym elementem, lub różnicy poziomów przed elementem piętrzącym i w jego przewężeniu. Mianem koryta pomiarowego określane jest element piętrzący wraz ze współpracującymi kanałami: dopływowym i odpływowym. Jako urządzenie pomiarowe rozumiane jest koryto pomiarowe wraz z współpracującym przepływomierzem ścieków.

Z podanego opisu metody pomiarowej wynika, że warunkiem stosowania spiętrzeniowej metody pomiaru jest występowanie warunków przepływu swobodnego w całym zakresie spodziewanych przepływów ścieków. Dopuszczalna wartość podtopienia hydraulicznego w kanale odpływowym koryta pomiarowego jest zwykle niewielka, i różna w różnych rozwiązaniach technicznych. W efekcie wielkość tego podtopienia stanowi jedno z podstawowych kryteriów stosowania takiej metody pomiaru przepływu ścieków.

Wielkość pomiarowego piętrzenia cieczy jest zależna od kształtu i gabarytów koryta pomiarowego, dobieranego indywidualnie według zasad określonych w normach lub przez producentów urządzeń pomiarowych, w funkcji spodziewanych przepływów ścieków.

W przypadku ścieków surowych, zawierających zanieczyszczenia mechaniczne pływające lub łatwo osadzające się, zalecane jest stosowanie koryt pomiarowych z płaskim dnem, które mają najlepsze własności samooczyszczania. W przypadku surowych ścieków komunalnych stosowanie cienkościennych przelewów mierniczych jako pomiarowych elementów pierwotnych jest zwykle wykluczone, gdyż tworzenie się osadów przed płytą przelewu powoduje niekontrolowaną zmianę charakterystyki przepływowej przelewu. W przypadku ścieków tego typu zastosowanie niektórych elementów piętrzących wymaga wstępnego mechanicznego oczyszczenia ścieków celem zapewnienia ciągłości i niezawodności pomiaru (Tabela nr 1).

Jako przyrządy realizujące pomiar przepływu cieczy przez koryto pomiarowe stosowane są zazwyczaj przepływomierze ultradźwiękowe. Realizują one ciągły pomiar wysokości spiętrzenia pomiarowego w określonym przekroju przed urządzeniem piętrzącym, bezkontaktową i bezobsługową metodą ultradźwiękową. Założeniem tej metody pomiaru poziomu cieczy jest pomiar czasu przebiegu fali sygnału ultradźwiękowego od momentu jego emisji do powrotu echa odbitego od zwierciadła cieczy. Uwzględniając prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w powietrzu o danej temperaturze, możliwe jest ustalenie odległości czujnika pomiarowego (emitora ultradźwięków) od lustra cieczy, a więc poziomu cieczy w danym układzie odniesienia. Silna zależność prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej od temperatury powietrza jest przyczyną, dla której czujniki poziomu wyposażane są zazwyczaj w czujniki temperatury, a wartość wynikowa kompensowana w funkcji temperatury. W praktyce dokładność pomiaru poziomu ścieków tą metodą, przy zakresie pomiarowym różnic poziomu ok. 1 m, sięga ok. ± 4 mm, jednak metody tej nie można stosować w przypadku występowania trwałego pianienia na powierzchni ścieków. W takich przypadkach zalecane jest stosowanie radarowych czujników do pomiaru poziomu cieczy.

Możliwe do uzyskania klasy dokładności stacjonarnych układów pomiarowych przepływu cieczy w przewodach otwartych metodą spiętrzeniową są określane w Normach ISO na poziomie ok. ± 3 do 5%

Metoda prędkość – wypełnienie

Istotą metody pomiarowej jest równoczesny pomiar prędkości w strumieniu cieczy oraz poziomu wypełnienia kanału o znanych gabarytach. Chwilowa wartość objętości przepływu ścieków jest wyznaczana jako iloczyn prędkości średniej i przekroju czynnego strumienia ścieków (co z kolei jest funkcją poziomu wypełnienia kanału w przekroju instalowania czujnika pomiarowego). W zależności od rozwiązania aparaturowego, pomiary prędkości realizowane są metodą elektromagnetyczną, ultradźwiękową lub laserową. W niektórych rozwiązaniach technicznych podstawą wyznaczenia chwilowej wartości prędkości średniej w strumieniu ścieków o przepływie swobodnym jest pomiar prędkości powierzchniowej realizowany metodą radarową.

W metodzie elektromagnetycznej wykorzystywane jest prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya, zgodnie z którym w przewodniku poruszającym się w polu magnetycznym indukuje się napięcie o wartości proporcjonalnej do parametrów pola magnetycznego, gabarytów czujnika i średniej prędkości przepływu cieczy. W rozwiązaniach technicznych stosowane są zazwyczaj 4 pary elektrod pomiarowych o rozstawie umożliwiającym pomiary w zakresie wypełnień czujnika od 10 do 100%.

Pomiar prędkości średniej w strumieniu cieczy metodą ultradźwiękową jest realizowany z wykorzystaniem tzw. efektu Dopplera, tj. zmiany częstotliwości fali ultradźwiękowej odbitej od elementów znajdujących się w ruchu (mikroelementy i pęcherzyki powietrza znajdujące się w strumieniu mierzonej cieczy). Czujnik pomiarowy prędkości, instalowany na dnie kanału w nurcie ścieków, musi być całkowicie zalany ściekami. Gabaryty dostępnych na rynku Polskim urządzeń tego typu wymagają wypełnień minimalnych na poziomie ok. 4 do 5 cm. Dokładność pomiaru prędkości średniej w strumieniu cieczy deklarowana jest w tych rozwiązaniach na $\pm 0,03$ m/s. Zastosowanie lasera, przy jednoczesnym wykorzystaniu efektu Dopplera umożliwia bezkontaktowy pomiar prędkości w jednym lub kilkunastu punktach przekroju poprzecznego strumienia ścieków. Dokładność pomiaru prędkości w strumieniu cieczy deklarowana jest w tych rozwiązaniach na $\pm 0,03$ m/s. W efekcie wynikowa dokładność pomiaru przepływu cieczy w tym rozwiązaniu jest silnie zależna od prędkości średniej strumienia oraz dokładności wyznaczenia przekroju czynnego strumienia cieczy w funkcji poziomu wypełnienia kanału. Poziom ten może być mierzony bezkontaktową i bezobsługową metodą ultradźwiękową lub radarową opisaną w rozdziale poprzednim.

Zaletami metody pomiarowej prędkość – wypełnienie jest możliwość realizacji pomiaru w warunkach podtopienia hydraulicznego przekroju pomiarowego oraz brak wpływu na przepustowość hydrauliczną kanału. Należy jednak zapewnić symetryczny rozkład prędkości przepływu ścieków w przekroju pomiarowym, co jest szczególnie ważne w przypadku realizacji pomiaru prędkości metodą ultradźwiękową laserową czy radarową. Zwraca się również uwagę na możliwość niekontrolowanego obniżenia dokładności pomiaru w wyniku zamulania dna kanału w przekroju pomiarowym, a co za tym idzie zmiany przekroju czynnego strumienia ścieków w funkcji poziomu wypełnienia kanału. W skrajnych przypadkach odkładające się osady lub duże elementy niesione w ściekach mogą doprowadzić do zablokowania pracy ultradźwiękowych czujników pomiarowych.

Dokładność pomiaru przepływu ścieków omawianą metodą pomiarową, określana jest indywidualnie dla każdego przypadku z określonym poziomem ufności jako pierwiastek z sumy kwadratów błędów względnych pomiaru prędkości średniej i błędów wyznaczenia przekroju czynnego strumienia ścieków.

Informacje dodatkowe

W związku z brakiem możliwości legalizacji układów pomiarowych przepływu cieczy w przewodach otwartych, Główny Urząd Miar w Warszawie sugeruje stosowanie Norm Krajowych i Międzynarodowych przy wyborze metod i urządzeń pomiarowych. W niektórych Normach ISO (Norma ISO 4359) znajduje się stwierdzenie, że spełnienie wymagań Normy powoduje brak konieczności wzorcowania układu pomiarowego na obiekcie po jego wykonaniu, co znacznie ułatwia proces uzgodnienia rozwiązania technicznego. Wykaz Norm ISO dotyczących omawianej tematyki przedstawiono w kolejnym rozdziale.

Jedynym krajowym opracowaniem opisującym zuniifikowane rozwiązania techniczne w tym zakresie jest Katalog Typowych Obiektów w Systemie Unifikacji Oczyszczalni Ścieków UNIKLAR 77, opracowany przez Centrum Techniki Komunalnej w Warszawie w latach 70-tych. Katalog ten, w części pt. „Koryta pomiarowe ze zwężką typu Venturiego” opisuje typoszereg 11 koryt pomiarowych KPV z płaskim dnem. Niektóre jednak parametry i warunki pracy tych koryt odbiegają od wymagań określonych w odpowiadającej im Normie Międzynarodowej ISO 4359. Dotyczy to w szczególności ograniczenia w Normie ISO zakresu pomiarowego przepływów przez element piętrzący, do wartości odpowiadającej spiętrzeniu pomiarowemu równemu połowie długości przewężenia tego elementu. Ma to na celu zapewnienie występowania warunków przepływu krytycznego w obrębie przewężenia elementu piętrzącego, co jest warunkiem realizacji pomiaru tą metodą oraz podstawą opisu matematycznego hydrauliki pracy koryta pomiarowego. Niespełnienie tego warunku powoduje w konsekwencji niepewność co do wiarygodności pomiaru oraz brak w takich przypadkach możliwości analitycznego wyznaczenia klasy dokładności pomiarów.

Wykaz Norm Międzynarodowych ISO dotyczących stacjonarnych układów pomiarowych przepływu ścieków w przewodach otwartych.

Normy ISO dotyczące elementów pierwotnych (piętrzących) układów pomiarowych:

- Koryta pomiarowe prostokątne, trapezowe i U-kształtne (Norma ISO 4359)
- Koryta Parshalla i SANIIRI (Norma ISO 9826)
- Cienkościenne przelewy miernicze prostokątne i trójkątne (Norma ISO1438/1)

Normy ISO dotyczące metody prędkość – napełnienie (Normy ISO 6416 oraz ISO 748)

Zestawienie urządzeń pomiarowych do pomiaru przepływu cieczy w przewodach otwartych szczególnie opisane w literaturze Amerykańskiej

(Grant D.M.; Dawson B.D. „Isco Open Channel Flow Measurement Handbook” – ISCO USA 1995r.)

W zagranicznej literaturze specjalistycznej opisane są różnorodne rozwiązania techniczne elementów pierwotnych układów pomiarowych, nie mające oparcia w opracowaniach normalizacyjnych. Wykaz tego typu rozwiązań przedstawiono poniżej. Niekiedy rozwiązania te, posiadające zwykle jedynie deklaracje producentów lub certyfikaty techniczne, są bardziej predysponowane do zastosowania w pewnych warunkach ze względów metrologicznych, technicznych lub ekonomicznych, niż opisane w Normach. Przykładowo, w Tabeli nr 1 zestawiono minimalne zakresy pomiarowe możliwe do uzyskania w różnych rozwiązaniach technicznych układu pomiarowego, z zaznaczeniem wymagań co do konieczności wstępnego podczyszczania ścieków surowych z części pływających oraz łatwo wypadających i tworzących trwałe osady denne w obiektach kanalizacyjnych.

(W opisie użyto oznaczeń: D – średnica nominalna rury; b – szerokość przewężenia)

- Koryta Leopold - Lagco – rury od D = 4 do 72" (0,106 do 1,83 m)
- Koryta Palmer – Bowlus – rury od D = 4 do 42" (0,106 do 1,04 m)
- Koryta Parshall – b = od 1" do 12 ft (0,0254 do 3,66 m)
- Koryta ścięte (cutthroat) – b = od 1" do 6 ft (0,0254 do 1,83 m)
- Koryta San Dima – b = od 0,5 do 10 ft (0,152 do 3,05 m)
- Koryta typu HS – rury od D = 0,4 do 1,0 ft (0,122 do 0,305 m); b = 1,05 D
- Koryta typu H – rury od D = 0,5 do 4,0 ft (0,152 do 1,37 m); b = 1,9 D
- Koryta typu HL – rekomendowane rury D = 4,0 ft (1,37 m); b = 3,2 D
- Przepływomierze klapowe dla rur D = 100, 150 i 200 mm
- Przelewy pomiarowe cienkościenne prostokątne, trójkątne i trapezowe

Tabela nr 1

Porównanie minimalnych przepływów w różnych rozwiązaniach technicznych elementów piętrzących

Lp.	Element pierwotny koryta pomiarowego	Przepływy $\frac{[m^3/h]}{[m^3/d]}$			Uwagi:
		Q_{min}	$Q_{h=50\text{ mm}}$	$Q_{h=100\text{ mm}}$	
Według Norm ISO					
1	Koryta prostokątne (b = 100 mm)	7,1 170,4	7,1 170,4	20,2 485	$h_{min} = 50\text{ mm}$
2	Koryta trapezowe (b = 100 mm)	7,7 184,8	7,7 184,8	23,7 568,8	$h_{min} = 50\text{ mm}$
3	Koryta U-kształtne (d = 100 mm)	5,2 124,8	5,2 124,8	17,5 420	$h_{min} = 50\text{ mm}$
4	Koryta Parshalla (b = 152 mm)	5,4 129,6	12,1 290,4	36,09 866	$h_{min} = 30\text{ mm}$
5	Przelewy prostokątne (b = 150 mm; B = 350 mm)	5,7 136,8	11,6 278,4	31,7 761	$h_{min} = 30\text{ mm}$ (ścieki podczyszczone)
6	Przelew trójkątny ($\alpha = 20^\circ$)	0,88 21,1		3,02 72	$h_{min} = 60\text{ mm}$ (ścieki podczyszczone)

Lp.	Element pierwotny koryta pomiarowego	Przepływy $\frac{[m^3/h]}{[m^3/d]}$			Uwagi:
		Q_{min}	$Q_{h=50\text{ mm}}$	$Q_{h=100\text{ mm}}$	
Według zaleceń Amerykańskich					
1	Koryta Parshalla (b = 25,4 mm)	0,95 22,8	2,1 50,4	6,1 146	$h_{min} = 30\text{ mm}$ (ścieki podczyszczone)
2	Koryta Balmera – Bowlusa (D = 152 mm)	1,4 34,3	7,0 168,0	26,6 638	$h_{min} = 20\text{ mm}$
3	Koryta Leopold – Lagco (D = 152 mm)	0,22 5,3	7,7 184,8	22,6 542	$h_{min} = 5\text{ mm}$
4	Koryta ścięte (cutthroat) (b = 25,4 mm)	0,50 11,9	1,38 33,0	5,5 132	$h_{min} = 30\text{ mm}$ (ścieki podczyszczone)
5	Koryta San Dima (b = 152 mm)	15,1 362,9	27,0 648,0	79,2 1900	$h_{min} = 30\text{ mm}$
6	Koryta typu HS (D = 122 mm)	0,01 0,2	1,2 28,8	5,5 132	$h_{min} = 5\text{ mm}$ (ścieki podczyszczone)
7	Koryta typu HS (D = 152 mm)	0,03 0,7	2,9 69,6	13,2 317	$h_{min} = 5\text{ mm}$ (ścieki podczyszczone)
8	Przepływomierz klapowy (D = 100 mm)	0,048 1,15	0,244 5,86	1,22 29	$h_{min} = 20\text{ mm}$ (ścieki podczyszczone)
Według zaleceń UNIKLAR 77					
1	Koryto KPV – I (b = 75 mm)	1,44 34,6	6,1 146,9	17,3 415	$h_{min} = 30\text{ mm}$