

Porównanie przelewów pomiarowych z korytami zwężkowymi

Comparison of measurement overflows with flumes

WOJCIECH DĄBROWSKI

DOI 10.36119/15.2022.2.6

Porównano przydatność koryt zwężkowych i przelewów o ostrych krawędziach w pomiarach przepływów w kanalizacji. Przedstawiono konflikt dokładności obliczeń z rzetelnością przeprowadzanych pomiarów przy pomocy koryta zwężkowego. Opisano błędy występujące w normie ISO 4359 odnoszącej się do prostokątnych, trapezoidalnych i U kształtnych koryt zwężkowych.

Słowa kluczowe: koryta zwężkowe, pomiary przepływu, kanalizacja

The usefulness of flumes and sharp-edged overflows in the measurements of flows in sewerage systems is compared. The conflict of the accuracy with the reliability of the measurements carried out with the use of flumes is presented. Imperfections of the ISO 4359 standard relating to rectangular, trapezoidal U-shaped flumes is described.

Keywords: flumes, flow measurements, sewerage

Wstęp

Pomiary przepływu w korytach otwartych pełnią istotną rolę co najmniej w melioracjach, we wszystkich rodzajach kanalizacji grawitacyjnej oraz w hydrologii. Najbardziej rozpowszechnionymi stacjonarnymi metodami pomiaru przepływu w kanalizacji są koryta zwężkowe, a przenośnymi przepływomierze ultradźwiękowe. Natomiast ultradźwiękowe metody pomiaru wysokości napełnienia są również stosowane przy pomiarach stacjonarnych przepływu korytami zwężkowymi i przelewami pomiarowymi z uwagi na niski koszt i bardzo dobrą dokładność pomiarów, o ile spełnione są prawidłowe zasady wyboru miejsca oraz instalacji urządzenia. W przewodach ciśnieniowych bardzo często stosowane są przepływomierze elektromagnetyczne, które w tych warunkach pozwalają na wysoką dokładność pomiarów (0,5% do 1% błędu względnego w zależności od prędkości przepływu) przy małej ingerencji w konstrukcję przewodu ciśnieniowego. Opracowano co prawda elektromagnetyczne przepływomierze dla swobodnego zwierciadła wody ale inne metody pomiarowe są w tym przypadku znacznie bardziej popularne. Ponieważ tematyka pomiarowa stanowi szeroki wachlarz zagadnień więc skupimy się tutaj wyłącznie na kanałach grawitacyjnych, czyli o swobodnym zwierciadle wody lub ścieków. Pomiary przepływu przy po-

mocy koryt zwężkowych $\pm 2\%$ - 6% są zazwyczaj nieznacznie mniej dokładne od pomiarów przeprowadzonych przy użyciu przelewów o ostrych krawędziach $\pm 2\%$ - 4% ale w przeciwieństwie do koryt zwężkowych przelewy powodują zatrzymanie osadów i o ile mogą być stosowane w oczyszczalni do pomiaru przepływów oczyszczonych ścieków, o tyle ich zastosowanie w kanalizacji bytowo – gospodarczej sprawdza się zazwyczaj jedynie do krótkotrwałych pomiarów kontrolnych dla innych urządzeń i zawsze jest związane z koniecznością częstego czyszczenia kanałów powyżej przelewów pomiarowych. Stosowanych jest również wiele innych metod pomiaru przepływu w kanalizacji, jak chociażby zatkanie odpływu z jednej ze studzienek kanalizacyjnych i pomiar napełnienia w czasie w studzienkach sąsiednich, co pozwala na obliczenie uśrednionej w czasie wartości natężenia dopływu. Ponadto za stosowaniem zwężek pomiarowych w porównaniu do przelewów o ostrych krawędziach przemawia również większy zakres pomiarowy koryt oraz zdecydowanie mniejsze spiętrzenie ścieków w kanale. W Polsce produkowana i stosowana jest również konstrukcja pośrednia pomiędzy przelewami i korytami zwężkowymi o przekroju poprzecznym przypominającym widok rozłożonych skrzydeł ptaka.

Większość ze stosowanych w monitoringu kanałów metod pomiarowych zosta-

ła zestawiona w tabeli 1, sporządzonej w dużej części na podstawie książki [8]. Niektóre z tych metod są stosowane jedynie sporadycznie do oszacowania wielkości przepływu, albo do sprawdzenia czy urządzenie mierzące innego rodzaju działają poprawnie.

W bardzo popularnym poradniku ISCO autorstwa Grant D.M. oraz Dawson B.B. [10] wymienione są wymagania dotyczące wbudowania przelewów w korytach otwartych, które można podsumować w następujących punktach:

1. przelew należy starannie wypoziomować ustawiając go prostopadle do osi koryta, a ściany przelewu od strony dopływającej wody (ścieków) powinny być gładkie,
2. ścianki przelewów stalowych powinny być o grubości 3-6mm o ostrych niezaokrąglonych krawędziach,
3. wymiary i kąt przelewu muszą być bardzo dokładnie ustalone,
4. połączenia przelewu z korytem muszą być szczelne, co w istniejących kanałach zapewnia się przez zastosowanie modyfikowanych wodoszczelnych cementów lub kitów asfaltowych,
5. nie można dopuścić do powstania podciśnienia pomiędzy przelewającą się strugą i ścianą przelewu od strony wody (ścieków) dolnej, co w niektórych przypadkach może spowodować konieczność wstawienia rurki doprowadzającej

prof. dr hab. inż. Wojciech Dąbrowski <https://orcid.org/0000-0003-0896-793X> – WiŚiE, Politechnika Krakowska.

Adres do korespondencji/ Corresponding author: wdabrow@pk.edu.pl

Tabela 1 Metody pomiaru natężenia przepływu w przewodach kanałowych

l.p.	Metoda	Szacunkowo błąd względny pomiaru Q	Zastosowanie	Materiały źródłowe	
1.	sondy ultradźwiękowe (Q-logger)	W laboratorium 1% do 2%, a w kanalizacji do 15%	najpopularniejsze urządzenia przenośne do pomiarów w przewodach kanalizacyjnych, wymagają napełnienia od 10 cm do 4 metrów.	[3,14]	
2.	obliczenia oparte na pomiarze wysokości napełnienia	wysoki, lub bardzo wysoki	wymaga kanału w bardzo dobrym stanie, bez osadów.	[2,3]	
3.	podstawionego naczynia	< 1%	jedynie dla małych natężeń przepływu i przy swobodnym wypływie.		
4.	koryta zwężkowe	Ventouriego	2-6%	zależnie od Q	[15,16,17,18,19]
		Palmera – Bowlusa	2-6%	zależnie od Q	[4, 11,12]
		Parshalla	2-6%	zależnie od Q	[10]
5.	kryzy miernicze		dla ścieków nie stosuje się.	[9]	
6.	przepływomierze elektromagnetyczne	0,5%-1%	niemal wyłącznie dla przewodów ciśnieniowych	[6,8]	
7.	zweżki Venturiego		wyłącznie dla przewodów ciśnieniowych i ścieków bez dużych ciał pływających	[8]	
8.	przelewy o ostrych krawędziach	2%-4%	uciążliwe w eksploatacji	PN-90/B-02711	
9.	urka Torricellego		jedynie pomiar orientacyjny i przez chwilę	[3]	
10.	młynek hydrometryczny		jedynie dla oszacowania czy inna metoda pomiaru nie daje bardzo nieprawidłowych wyników	[3]	
11.	rura kalifornijska	10%	tylko tam gdzie jest swobodny wypływ	[10]	
12.	plywaki pionowe	15%	nie należy stosować powierzchniowych	[16]	
13.	plywaki całkujące	5%	wymagają możliwości wykonania zdjęć powierzchni w miejscu wynurzenia	[1]	
14.	znaczniki	duży	stosowane sporadycznie	[16]	

- powietrze pomiędzy opadającą strugą ścieków i pionową ścianą, w której założony jest przelew,
- dolna krawędź przelewu ma być wzniesiona ponad dno kanału co najmniej dwa razy wyżej niż wynosi największa możliwa wysokość zwierciadła ścieków nad przelewem, a wysokość przelewu nie może być mniejsza od 0,3m,
 - kanał powinien być prosty na odcinku co najmniej równym dwudziestokrotnej wartości wysokości napełnienia kanału przed przelewem, a spadek kanału ma być mały, lub wręcz zerowy,
 - położenie wysokościowe przelewu musi zapewnić aby pracował on jako niezatopiony, co z pewnością będzie spełnione jeżeli przelew w całości położony będzie powyżej zwierciadła wody w kanale dolnym,
 - miar wysokości napełnienia strugi nad przelewem powinien być przeprowadzony nie bliżej niż w odległości trzykrotnie przekraczającej największą możliwą wysokość spiętrzenia nad przelewem i zlokalizowany w miejscu, w którym nie występują zaburzenia od nierówności ścian kanału,
 - krawędź przelewu powinna być okresowo czyszczona, podobnie jak kanał powyżej przelewu, w którym nie można

- dopuszczyć do odłożenia grubej warstwy osadów zaburzających przepływ,
- dobór wielkości przelewu ma zapewnić wymaganą dokładność pomiaru w całym zakresie zmienności natężenia przepływu,
 - przekrój poprzeczny kanału dopływowego powinien być co najmniej osiem razy większy od powierzchni przelewającej się przez przelew cieczy na odległości nie mniejszej niż piętnasto – a lepiej dwudziestokrotność wysokości spiętrzenia wody nad przelewem,
 - jeżeli nie jest możliwe spełnienie uprzedniego warunku to prędkość dopływu do przelewu nie może być pominięta w interpretacji wyników, czego należy unikać, a w przypadku niemożności stosować wzory uwzględniające prędkość dopływu,
 - rozkład prędkości przepływu w strudze dopływającej do przelewu powinien być łagodny, co w niektórych przypadkach może wymagać zastosowania kierownic.
- Ostatni z tych punktów ma zastosowanie wyłącznie do pomiaru podczyszczonych ścieków, gdyż w kanalizacji umieszczenie kierownic spowodowałoby natychmiastowe obrastanie ich papierem toaletowym i tekstyliami. Dla natężeń przepływu

do 28 l/s najczęściej stosuje się przelewy trójkątne o kącie rozwarcia 22,5°, 30°, 45°, 60°, lub 120°, przy czym mniejsze kąty dobiera się do mniejszych wartości natężeń przepływu. Ten kształt przelewu zapewnia wysoką dokładność pomiaru natężeń przepływu sięgających 280 l/s. Przelew trójkątny w najszerszym miejscu powinien być oddalony od ścian kanału na odległość przekraczającą dwukrotność szerokości najszerszej możliwej strugi w przelewie. Najmniejsza dopuszczalna wysokość ścieków nad przelewem wynosi 6 cm [10] ze względu na zagrożenie spływu wzdłuż ściany przelewu, a największa wysokość ze względu na dokładność pomiaru nie powinna przekroczyć 0,6 metra. Przy małych wysokościach napełnienia zachodzi obawa, że struga przelewającej się wody/ścieków będzie przylegać do pionowej ściany przewodu, co znacznie zaburzy pomiar. Stosowane są nawet rurki wprowadzające powietrze pomiędzy strugę spływających ścieków i pionową ścianę przelewu aby dla bardzo małych napełnień wykluczyć to zjawisko.

W książce [8] zestawiono wzory stosowane do obliczeń różnych rodzajów przelewów na podstawie poradnika ISCO [10].

Niestety często sposób instalowania i stan techniczny urządzeń pomiarowych jest zły, co powoduje uzyskiwanie wyników pomiarów obarczonych nawet kilka razy większym błędem względnym niż te podane w tabeli 1. Według danych z raportu instytucji brytyjskich cytowanych w pracy [20] 4% urządzeń było wadliwie założonych, 30% krawędzi przelewów oraz 10% koryt zwężkowych zostało zniekształconych, 180 koryt zwężkowych pracowało powyżej zakresu pomiarowego, znaczna część urządzeń pomiarowych była narażona na wpływ niekorzystnych oddziaływań zjawisk występujących w kanałach powyżej, lub poniżej urządzeń pomiarowych, 90% drugich sond dawało niewłaściwe odczyty i 23% było źle zlokalizowanych.

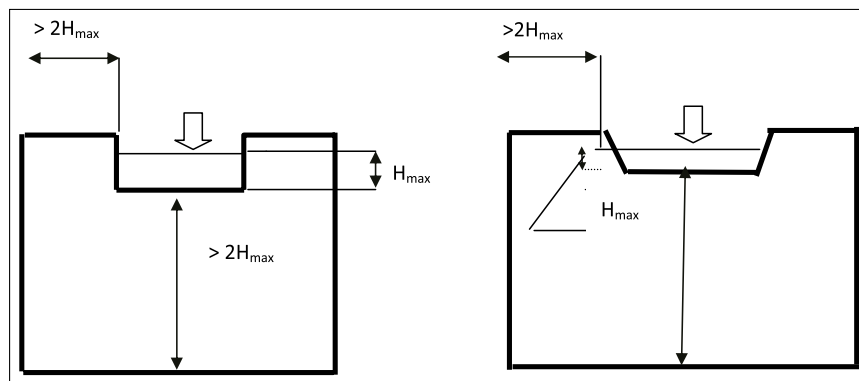
Przelewy prostokątne mogą mieć długość równą szerokości koryta prostokątnego, którym dopływa ciecz, lub mogą zajmować jedynie część tej szerokości. W obu przypadkach wzniesienie krawędzi przelewu nad dnem koryta nie powinno być mniejsze od dwukrotnej wysokości piętrzenia wody nad przelewem H_{max} , a w przypadku przelewów krótszych od szerokości kanału pionowe krawędzie przelewu powinny być oddalone od ścian kanału również co najmniej o $2H_{max}$. Nie powinno się stosować przelewów pracujących przy mniejszej wysokości wzniesienia zwierciadła wody nad krawędzią przelewu prostokątnego niż 0,3 metra lub

Tabela 2 Wzory stosowane do obliczania wartości natężenia przepływu przez niezatopione przelewy pomiarowe o ostrych krawędziach i różnych kształtach [8]

Rodzaj przelewu	Wzór	Stałe występujące we wzorach; jednostki wynikają z postaci wzoru i przyjętych jednostek miar, jak w kolumnie poprzedniej.
przelew trójkątny	$Q = KH^{2,5}$ gdzie: Q natężenie przepływu [l/s], K – stała zależna od kąta rozwarcia przelewu, jak z prawej strony H – wzniesienie zwierciadła wody nad przelewem [m].	$K(22,5^\circ) = 274,4$ $K(30^\circ) = 373,2$ $K(45^\circ) = 571,4$ $K(60^\circ) = 796,7$ $K(90^\circ) = 1380$ $K(120^\circ) = 2239$
przelew prostokątny o długości równej szerokości koryta	$Q = KLH^{1,5}$	K = 1838, gdy długość krawędzi przelewu L oraz H wyrażone są w metrach, a Q w l/s.
przelew prostokątny o długości mniejszej od szerokości koryta	$Q = K(L-0,2H)H^{1,5}$ gdzie: L – długość krawędzi przelewu [m], K – stała zależna od jednostek miar podana w kolumnie z prawej strony, H – wzniesienie zwierciadła wody nad przelewem w metrach	K = 1838, gdy H oraz L wyrażone są w metrach, a Q w l/s.
przelew trapezowy o ramionach w spadku 4:1	$Q = KLH^{1,5}$ gdzie L jest dolną, a więc krótszą podstawą trapezu.	K = 1859 gdy L, H wyrażone w metrach, a Q w l/s.

o dłuższej krawędzi niż 2,5m. Pierwsze z tych ograniczeń spowodowane jest tym, że dla natężeń przepływu powodujących w przelewie prostokątnym mniejszą wysokość napełnienia niż 0,3m zalecanym ze względu na dokładność pomiaru jest kształt trójkątny. Natomiast długość przelewu nie jest ograniczona względami fizycznymi, czy technicznymi i wynika jedynie z uwarunkowań ekonomicznych, a więc w razie potrzeby można konstruować przelewy dłuższe niż 2,5 metra. W przypadku dużych zmienności natężeń przepływu może się okazać, że zastosowanie przelewu trójkątnego nie jest możliwe i że konieczne jest zainstalowanie przelewu prostokątnego przy występujących okresowo wysokościach napełnienia poniżej 0,3 metra, ale wówczas nie powinno się przynajmniej dopuścić do obniżenia tej wysokości poniżej 0,06 metra, poniżej której przelewający się strumień cieczy może przyłgnąć do ściany przelewu fałszując wyniki pomiarów. Z uwagi na dokładność pomiarów nie powinno się również przekraczać napełnienia powyżej krawędzi przelewu większego od połowy długości przelewu prostokątnego. Wymagania dotyczące odległości usytuowania przelewów pomiarowych od dna i ścian kanałów zostały podane na rysunku 1.

Przelewy trapezowe stosowane są zazwyczaj z pochyleniem ścian bocznych 4 jednostki długości w pionie do 1 jednostki długości w poziomie i wówczas pomimo tego, że nie zajmują całej szerokości kanału ogólny wzór na ich obliczanie ma postać identyczną ze wzorem na przelew prostokątny o długości równej szerokości koryta (tabela 2). Podobnie jak w przypadku innych przelewów, tak i przelew trapezowy powinien być wzniesiony nad dnem kanału na wysokość nie mniejszą od dwukrotnej wysokości spiętrzenia wody nad przelewem oraz dolna krawędź przelewu nie



Rys. 1 Wymagania dotyczące usytuowania przelewów pomiarowych w przekroju poprzecznym i podłużnym kanału [8] według poradnika [10]

powinna znajdować się bliżej ściany niż 2H_{max}. Tam gdzie występuje taka potrzeba w obliczeniach należy uwzględnić wysokość prędkości dopływających kanałem ścieków.

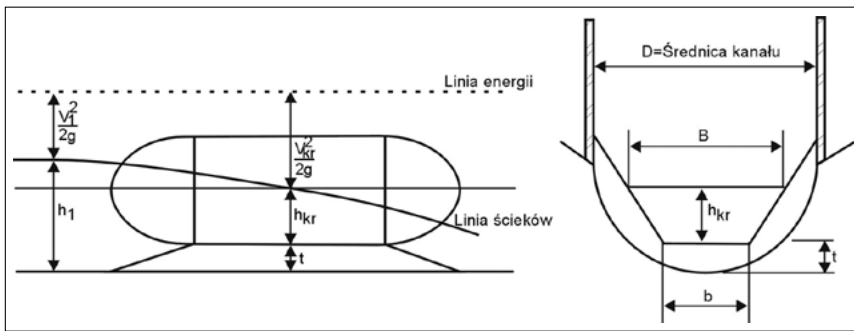
Należy również wspomnieć o innych kształtach przelewów, jak chociażby tak zwany przelew proporcjonalny Sutro, w którym natężenie przepływu jest proporcjonalne do wysokości piętrzenia i serię przelewów w przybliżeniu proporcjonalnych, ale znacznie od niego łatwiejszych do produkcji. Szerokie badania teoretyczne nad kształtem przelewów zapewniających zadaną z góry zależność funkcijną pomiędzy wysokością piętrzenia cieczy nad przelewem i wartością natężenia przepływu przeprowadziła w Polsce G. Majcherek i dokonała empirycznej weryfikacji wyprowadzonych przez nią wzorów. Z uwagi na to, że produkcja przelewów o skomplikowanych kształtach jest trudna nie zostały one upowszechnione w kanalizacji i przy dużych zmianach wartości natężeń przepływu stosowane są raczej przelewy w postaci prostych przekrojów złożonych z trójkąta i prostokąta o znacznie dłuższej podstawie. Przelewy te charakteryzują się małą dokładnością pomia-

rów w pobliżu przekroju nieciągłości jakim jest połączenie różnych kształtów przekroju i nie będą tutaj omawiane, tym bardziej że większym zakresem pomiarowym i mniejszymi spiętrzeniami ścieków charakteryzują się koryta zwężkowe, które pomimo znacznie większych kosztów inwestycyjnych i trochę mniejszej dokładności pomiaru od przelewów niezatopionych o ostrej krawędzi górują nad nimi lepszym dostosowaniem do zmiennych wartości natężeń przepływu i do transportu osadów kanalizacyjnych. Ponadto cytowane tutaj za literaturę wymagania dotyczące sposobu instalowania przelewów w przekroju poprzecznym kanału wynikały z badań hydraulicznych przeprowadzo-

nych na korytach prostokątnych i w związku z tym nie jest dokładnie wiadomo na ile należy zwiększyć wymagane oddalenie przelewu od dna i od ścian kanału, aby wpływ prędkości dopływu ścieków był zanedbywalny dla różnych spadków i przekrojów stosowanych w kanalizacji.

Koryta zwężkowe

Najogólniej można podzielić koryta zwężkowe stosowane w kanalizacji na takie, które wymagają pomiaru wysokości napełnienia w dwóch miejscach, a mianowicie w przewężeniu zwanym gardzielią koryta i przed nim oraz takie, w których jeden pomiar wystarcza do określenia wartości natężenia przepływu (BN-72/6210-04, BN-74/6210-05, PN-90/B-02711). Powstaje swoisty konflikt dokładności i wiarygodności pomiaru omówiony szczegółowo w artykułach [5,7]. Ogólnie przepływ przez koryto zwężkowe można opisać układem trzech równań (1-3), z których równania (1) oraz (3) opisują bilans masy, a równanie (2) jest równaniem Bernoulliego, a więc opisuje zasadę zachowania energii. Przyjęte w tych równaniach oznaczenia są zgodne z tymi wprowadzonymi na rysunku 2, na którym



Rys.2
Przekrój podłużny i poprzeczny przez koryto Palmera – Bowlusa narysowany na podstawie publikacji [8]

przedstawiono podłużny i poprzeczny przekrój przez koryto Palmera – Bowlusa.

$$Q = A_1 v_1 \quad (1)$$

$$h_1 + \alpha_1 v_1^2 / 2g = t + h_2 + \alpha_2 v_2^2 / 2g + \Delta h_{str} \quad (2)$$

$$Q = A_2 v_2 \quad (3)$$

Dla obliczenia wartości przepływu korzystamy później z jawnego jednego równania uzyskanego z rozwiązania układu równań (1),(2),(3) ale dla zrozumienia konsekwencji dla wyniku założeń poczynionych na początku tego rozwiązania, konieczna jest analiza układu równań źródłowych. W równaniach (1)-(3) oznaczono przez A_1 , A_2 powierzchnie przekroju poprzecznego prostopadłego do kierunku przepływu w przekrojach 1 przed gardzielą oraz w przekroju 2 w gardzeli. Ten drugi przekrój oznaczony jest tutaj przez h_{kr} , ale na razie przyjmujemy iż jest to dowolnie wybrany przekrój w gardzeli koryta. Δh_{str} jest stratą wysokości strugi wody wynikającą z rozproszenia energii na opory hydrauliczne przepływu. Przez α_1 , α_2 oznaczono współczynniki korekcji energii uwzględniające nierównomierny rozkład pola prędkości. Zamiast wyznaczać wartości tych współczynników w normie ISO 4359 [11,12] zastosowano metodę warstwy przyściennej, aby modyfikując odpowiednio szerokość koryta oraz pomierzone głębokości napelnienia można było przyjąć te współczynniki jako równe 1. Znając geometrię koryta zwężkowego znamy powierzchnie A_1 , A_2 w funkcji wysokości napelnienia h_1 . Tak więc dokonując pomiaru h_1 , h_2 z układu równań (1)-(3) można obliczyć trzy niewiadome v_1 , v_2 , Q , to znaczy określić wielkość przepływu Q .

Dwa podejścia

Dla prawidłowo dobranego zakresu pomiarowego przed korytem wysokość napelnienia powinna przewyższać głębokość krytyczną, a więc ruch jest uspokojony,

miarę, pomiar wysokości napelnienia może być przeprowadzony z dużą dokładnością. Natomiast gdzieś w gardzeli przekraczana jest głębokość krytyczna i jeżeli drugi pomiar wysokości napelnienia wypadnie przeprowadzić w miejscu, w którym występuje ruch rwący, to ten pomiar h_2 z natury rzeczy obciążony może być dużym błędem. Ponadto w przypadku pomiarów h_1 oraz h_2 nie jest możliwe utworzenie krzywej konsumpcyjnej $Q(h)$. Obydwie te niedogodności pomijane są w przypadku normy ISO 4359 [11, 12] w taki sposób iż zakłada się, że gdzieś w gardzeli koryta zwężkowego wystąpi głębokość krytyczna h_{kr} , tak jak to pokazano na rysunku 2. Teraz drugim przekrojem w równaniach (2),(3) jest właśnie to miejsce, gdzie ta głębokość krytyczna wystąpiła. Nie ma przy tym potrzeby aby wiedzieć w którym miejscu, byleby mieć pewność iż przy znanym zakresie pomiarowym ta głębokość gdzieś w gardzeli powstanie. Dla przekroju prostokątnego mamy więc dodatkowe równanie na głębokość krytyczną, a więc odpada konieczność pomiaru wysokości napelnienia h_2 i zwiększa się dokładność wyznaczenia przepływu Q oraz pojawia możliwość utworzenia krzywej konsumpcyjnej $Q(h_1)$. Dla koryt zwężkowych U-kształtnych głębokość krytyczna nie jest dana w postaci jawnej tylko jako wartość uwikłana w układzie równań. Nie zmienia to jednak faktu, iż jest ona w ten sposób znana i wystarcza jedynie pomiar h_1 . Jednakże równocześnie pojawia się zagrożenie uzyskania błędnych wyników pomiaru jeżeli w gardzeli nie wystąpi głębokość krytyczna. Może tak się zdarzyć jeżeli źle został wyznaczony zakres pomiarowy koryta zwężkowego, lub nastąpiło podpiętrzenie odpływu w wyniku przytkania kanału poniżej koryta zwężkowego. Dlatego dobrym rozwiązaniem jest pozostawienie drugiej sondy ultradźwiękowej do pomiaru h_2 jako kontrolnego i korzystanie wyłącznie z pomiaru h_1 do wyznaczania Q , o ile rozwiązanie układu równań (1),(2),(3) dla

pomierzonej pary wartości h_1 oraz h_2 daje zbliżone wyniki. W przeciwnym przypadku powinien być wysłany odpowiedni komunikat z danymi. Podobnie w polskim systemie koryt pomiarowych Venturiego [17] jeszcze z 1981 roku też przyjęto takie założenie, że wartość przepływu Q wyznacza się jedynie w oparciu o pomiar wysokości napelnienia h_1 przed korytem zwężkowym. Niestety zakresy pomiarowe dla koryt Venturiego podane w normie ISO 4359 oraz w katalogu KPV Uniklar77 bardzo różnią się między sobą.

Niedoskonałości normy ISO 4359

W normie ISO 4359 [11,12] przyjęto następujące wątpliwe założenia [5,7]:

1. zamiast wyznaczać w równaniu (2) wartości współczynników α_1 , oraz α_2 można zastosować teorię warstwy przyściennej do modyfikacji w obliczeniach wymiarów strugi ścieków, tak jak gdyby warstwa ta nie występowała wcześniej w kanale i rozpoczynała się dopiero na wlocie do koryta zwężkowego,
2. dla układu równań (1),(2),(3) przyjęto taką samą wartość grubości, o którą zmodyfikowano wysokość i grubość (z dwóch stron) strumienia ścieków, a powinna być ona inna dla zachowania bilansu masy (1),(3) i inna dla zachowania tej samej energii,
3. wartość grubości, o którą modyfikowano strumień ścieków obliczana jest na końcu koryta zwężkowego, a więc przyjęto założenie, iż to tam występuje głębokość krytyczna, którą interpretowano tak jak w przypadku przepływu przez koryta o zerowym, lub niezerowym ale stałym spadku.

Tymczasem wyniki pomiarów pokazały, że położenie miejsca występowania głębokości krytycznej w gardzeli zależy od wartości przepływu [20]. Podjęto próbę poprawy tej trzeciej niedoskonałości [5,7] przyjmując, że zakres pomiarowy koryt zwężkowych Venturiego wynika z tego, że głębokość krytyczna przesuwa się w tym zakresie od początku do końca gardzeli (uściślając przyjęto przesuwanie się od 0,1 do 0,9 długości gardzeli). Jednakże wyniki pomiarów laboratoryjnych wykazały, że długość przesuwania się miejsca wystąpienia głębokości krytycznej jest znacząco mniejsza [13, 20].

Wnioski końcowe

Stosowanie koryt zwężkowych jest relatywnie tanim sposobem prowadzenia pomiarów przepływu w porównaniu na przykład z pomiarem ultradźwiękowym,

szczególnie dla dokładniejszych urządzeń pomiarowych z zastosowaniem korelacji krzyżowej. Niestety często spotyka się przypadki uzyskiwania bardzo niedokładnych wyników z uwagi na błędy w lokalizacji miejsca zainstalowania koryt zwężkowych lub niedokładności w ich posadowieniu. Przykładowo ważne jest wy poziomowanie gardzieli koryt zwężkowych, co jest możliwe w kanale prowadzonym w spadku przy starannym zainstalowaniu koryta zwężkowego Palmera – Bowlusa, ale nie jest możliwe przy zastosowaniu koryt Venturiego. Niestety zakresy pomiarowe dla różnych koryt zwężkowych, jak chociażby koryt Parshalla, podawane w normach i instrukcjach producentów dla tych samych kształtów i wielkości znacząco różnią się między sobą. Również w obliczeniach opisanych przez normy międzynarodowe, jak norma ISO 4359 występują niedoskonałości, ale to nie one są powodem obserwowanych często dużych rozbieżności w wynikach pomiarów w różnych przekrojach pomiarowych. Takim miejscem porównań jest często oczyszczalnia ścieków. Oczywiście przepływy na dopływie i odpływie różnią się między sobą, ale ustalona na ich podstawie objętość dopływających ścieków surowych i odpływających oczyszczonych powinna się w skali roku różnić jedynie nieznacznie z uwagi na różnicę wielkości parowania i opadu oraz dopuszczalne

błędy pomiarowe. Tymczasem zdarzają się przypadki różnic kilkunastu do trzydziestu procent w przypadku dużych oczyszczalni, dla których wymagana jest duża dokładność urządzeń pomiarowych.

LITERATURA

- [1] Dąbrowski W, Ochrona zasobów wodnych poprzez dokładność pomiaru ilościowego ścieków, Instal 2012,2, 56-58
- [2] Dąbrowski W., Ashley R.M., Obliczanie oporów hydraulicznych przepływu przez kanały z odłożonym osadem, Czasopismo Techniczne, 1996, 5B, 72-81
- [3] Dąbrowski W., Ashley R.M., Transport osadów w kanałach ściekowych – pobór próbek ścieków i osadu, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1994, 5, 135 – 139
- [4] Dąbrowski W., Polak U., Generowicz M., Ocena wpływu pomiaru głębokości napełnienia na dokładność wyznaczonego natężenia przepływu przez koryta zwężkowe, Czasopismo Techniczne, 2001, 3-B, 172-183
- [5] Dąbrowski W., Polak U., Improvements in Flow Rate Measurements by Flumes, Technical note, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 2012, 757-763
- [6] Dąbrowski W., Pomiar natężenia przepływu w świetle przepisów, Instal 2003, 11, 28-35
- [7] Dąbrowski, W., Polak, U. (2010). "Flow rate measurements by flumes." Proc., 14th Int. Water Technology Conf., Cairo, Egypt, 237-249.
- [8] Dąbrowski, W., Wpływ kanalizacji na środowisko, Politechnika Krakowska, Kraków, 2004, 284 str.
- [9] Erb H.G., Durchflusmesstechnik für die Wasser – und Abwasserwirtschaft, Vulkan-Verlag, Essen, 1998 (wydana w wersji polskiej przez Seidel i Przywecki, 1998, str 294)
- [10] Grant D.M., Dawson D.B., ISCO open channel flow measurement handbook, Isco Inc., 1995
- [11] ISO 4359: 1983, Liquid flow measurement in open channels – Rectangular, trapezoidal and U – shaped flumes, 75pp. (norma zastąpiona przez [12])
- [12] ISO 4359: 2013, Flow measurement structures – Rectangular, trapezoidal and U – shaped flumes,
- [13] Jesson M., Sterling M., Bake D., Application of ISO 4359 for discharge calculation in a narrow flume, Flow Measurement and Instrumentation, Elsevier, 2017, 54, 283-287
- [14] McGregor I., Ashley R.M., Specification of laboratory analysis and sampling of sewage and sewer sediments, A report for Water Research Centre –UK, 1992, grudzień, str 55 + 105rys.
- [15] Nowak T., Oszczygiel J., Pomiar strumienia objętości cieczy w przewodach otwartych, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2002, 1, 19-22
- [16] Tchobanoglous G., Wastewater Engineering: Treatment – Disposal-Reuse, McGRAW HILL BOOK COMPANY, wydanie drugie 1979
- [17] Uniklar 77, Zwężki Venturiego, KPV, Centrum Techniki Komunalnej, 1981, Warszawa
- [18] Wołoszyn E., Koryta pomiarowe typu Venturi. Część I – Przegląd wzorów na wydatek zwężki o przepływie rwącym, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1974, 8, 264-267
- [19] Wołoszyn E., Koryta pomiarowe typu Venturi. Część II – Wyniki badań laboratoryjnych, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1974, 9, 296-298
- [20] Yeung H., An examination of BS3680 4C (ISO/DIS 4369) on the measurement of liquid flow in open channels – flumes, Flow Measurement and Instrumentation, Elsevier, 2007, 18, 175-182