

Agnieszka STEC

Józef DZIOPAK

Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju

Politechnika Rzeszowska

MODEL HYDRAULICZNY ZBIORNIKA RUROWEGO

CZ. I. FAZY NAPEŁNIANIA

W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące regulowania spływu ścieków deszczowych i ogólnospławnych z wykorzystaniem rurowych zbiorników retencyjnych, odciążających hydraulicznie systemy kanalizacyjne. Omówiono zasadę działania innowacyjnego zbiornika rurowego, który jest przedmiotem zgłoszenia patentowego. Sformułowano jego model hydrauliczny oraz określono warunki brzegowe jego funkcjonowania w charakterystycznych fazach napęnlania poszczególnych sekcji zbiornika.

1. Wprowadzenie

Regulowanie spływu wód deszczowych w kanalizacji jest kwestią, która w decydujący sposób wpływa na wymiarowanie i racjonalne wykorzystanie obiektów i urządzeń zlokalizowanych na sieciach. Jest to problem ważny i ciągle aktualny, gdyż postępująca intensyfikacja zabudowy wielu miast wpływa na wzrost strumienia objętości ścieków deszczowych transportowanych systemami kanalizacyjnymi. W przypadku niewystarczającej przepustowości kanałów nadmiar ścieków może powodować ciśnieniowe działanie sieci, podtopienia budynków i ulic oraz utrudnienia w komunikacji miejskiej. Negatywne skutki tego zjawiska obserwowane są również w odbiornikach ścieków, którymi są najczęściej wody powierzchniowe.

Jednym z najbardziej efektywnych sposobów regulacji strumienia objętości przepływu ścieków jest budowa zbiorników retencyjnych, które pozwalają w okresach szczytowych przepływów na przechwycenie i czasowe przetrzymanie nadmiaru ścieków deszczowych oraz stopniowe ich odprowadzanie do sieci położonej poniżej zbiornika. Są to głównie zbiorniki o układach grawitacyjnych i grawitacyjno-pompowych, które szeroko zostały omówione m.in. w publikacjach [1, 2].

Stosowanie zbiorników na granicy zlewni umożliwia przyłączenie nowych sieci kanalizacyjnych do systemów już istniejących, bez konieczności ich rozbudowy nie powodując ich hydraulicznego przeciążenia. Zastosowanie zbiorników przy budowie nowych sieci pozwala także na osiągnięcie istotnych efek-

tów ekonomicznych, zwłaszcza w sytuacji, gdy znaczne objętości ścieków deszczowych są transportowane na duże odległości.

Zbiorniki retencyjne oprócz hydraulicznego odciążania sieci i jej elementów, mogą również pełnić funkcję obiektów służących do uśredniania dopływu ścieków do oczyszczalni oraz podczyszczających ścieki w procesach mechanicznych. Dzięki takim możliwościom odgrywają one istotną rolę w zakresie ochrony odbiorników zarówno, gdy współdziałają z oczyszczalnią ścieków, jak i wtedy, gdy odpływ z nich kierowany jest bezpośrednio do odbiornika.

2. Retencjonowanie ścieków w zbiornikach rurowych

Tradycyjne konstrukcje zbiorników retencyjnych mają zazwyczaj formę żelbetonowych komór prostopadłościennych. Bez względu na układ hydrauliczny tych komór, wymagana powierzchnia pod budowę zbiornika sięga nawet kilku tysięcy metrów kwadratowych. W związku z tym lokalizacja tego typu obiektów, zwłaszcza na terenach miejskich, może napotykać na trudności wynikające z gęstej struktury istniejących sieci podziemnych, braku wystarczającej powierzchni pod budowę zbiornika oraz z niekorzystnych warunków topograficznych. Korzystnym rozwiązaniem tego problemu może być nowe podejście do możliwości retencjonowania ścieków w zbiornikach rurowych, w których komory akumulacyjne stanowią odcinki istniejących przewodów kanalizacyjnych o określonych średnicach i długościach.

Działanie typowego zbiornika rurowego oparte jest na modelu klasycznego grawitacyjnego zbiornika kanalizacyjnego typu *SIMPLEX*. Jest to jednokomorowy zbiornik, w którym komora akumulacyjna usytuowana jest na znacznie niższym poziomie względem kanału doprowadzającego ścieki. Ścieki przepływają przez całą długość przewodu w kierunku otworu spustowego, zamontowanego przy dnie na przeciwległym końcu zbiornika. Otwór ten umożliwia regulację strumienia objętości przepływu, którego wartość wynika ze znanej zdolności przepustowej kanału położonego za zbiornikiem.

Istnieje wiele modyfikacji takich zbiorników, których konstrukcja oparta jest na budowie zbiornika wielokomorowego [1, 3, 4]. W rozwiązaniach tych układ wielokomorowy uzyskano w wyniku wydzielenia z objętości zbiornika jednokomorowego dodatkowych komór, które regulują proces akumulacji ścieków, takich jak komora wlotowa czy wylotowa. Jest to rozwiązanie bardziej efektywne, gdyż pozwala na pełne wykorzystanie przestrzeni akumulacyjnej zbiornika i zdolności przepustowej kanału odprowadzającego ścieki.

Koncepcja budowy zbiorników kanalizacyjnych jako odcinków kanałów o znacznych średnicach pojawiła się w Niemczech już w latach 30. XX wieku. Początkowo były to konstrukcje murowane, które z czasem zastąpiono prefabrykowanymi odcinkami rur, wykonanymi z betonu lub tworzywa sztucznego.

W zależności od dostępności powierzchni przeznaczonej pod budowę, zbiorniki rurowe mogą funkcjonować w systemach kanalizacyjnych w układach równoległych lub szeregowych. Na rysunku 1 przedstawiono przykład zreali-

zowanej inwestycji, w której zbiornik wykonano jako zespół rur połączonych równolegle [5]. Jeżeli lokalizacja zbiornika uwarunkowana jest ograniczeniami wynikającymi głównie z wysokościowego usytuowania sieci kanalizacyjnej lub istniejącej infrastruktury podziemnej, to zbiorniki rurowe projektowane są w układzie szeregowym, i taki ich układ przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Zbiorniki rurowe w układzie równoległym [5]

Zbiorniki retencyjne wykonane w postaci odcinków rur mają szereg zalet, z których do najważniejszych należy zaliczyć:

- łatwość transportu i montażu jednorodnej konstrukcji, która wynika z modułowego charakteru zbiornika,
- ograniczenie złożonych obliczeń wytrzymałościowych, które wymagane są przy podziemnych konstrukcjach żelbetowych, jakimi są prostopadłościennne zbiorniki,
- korzystne parametry materiałów stosowanych do budowy rur, a mianowicie: duża odporność na ścieranie i procesy korozyjne, gładkość wewnętrznych ścian wpływająca na ograniczenie zarastania i zamulania kanału,
- duże możliwości przy projektowaniu kształtu i objętości zbiornika, wynikające z dostępności rur w szerokim zakresie średnic,
- możliwość lokalizacji zbiornika w różnych wariantach inwestycyjnych względem sieci.



Rys. 2. Zbiorniki rurowe w układzie liniowym [5]

Ścieki mogą być również retencjonowane w specjalnie przeznaczonych do tego celu kanałach, które charakteryzują się znacznymi średnicami. Rozwiązanie takie zostało przedstawione w publikacji [6].

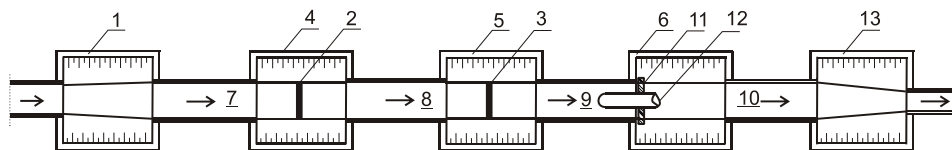
3. Koncepcja rurowego zbiornika retencjonującego ścieki deszczowe

Przykładem konstrukcji rurowego zbiornika retencyjnego może być rozwiązanie, które jest przedmiotem zgłoszenia patentowego nr P 391574 [7]. Zbiornik ten charakteryzuje się tym, że jego przestrzeń wewnętrzną podzieloną jest na sekcje nieruchomymi przegrodami, umieszczonymi w studzienkach lub komorach kanalizacyjnych. Przegrody te zamontowane są prostopadle do kierunku przepływu ścieków z zachowaniem pewnej odległości od dna kanału tak, aby tworzyły otwory przepływowe między kolejnymi sekcjami. W zależności od wymaganej obliczeniowej pojemności zbiornika, posiada on odpowiednią liczbę sekcji o określonej średnicy i długości.

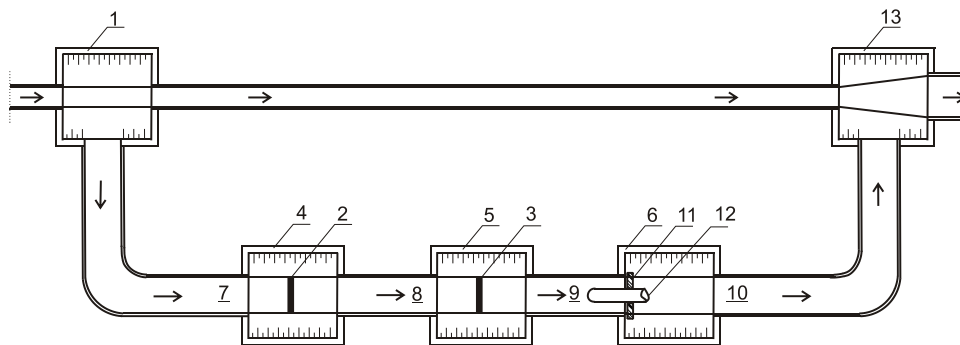
Odływ ze zbiornika determinowany jest regulatorem przepływu, który zainstalowany jest na wyjściu z ostatniej sekcji zbiornika. Regulator zapewnia odpływ na stałym poziomie, niezależnie od poziomów spiętrzenia ścieków w sekcjach zbiornika, co korzystnie wpływa na funkcjonowanie systemu kanalizacyjnego położonego poniżej zbiornika. Kompleksowe badania regulatorów

przepływu ścieków w systemach kanalizacyjnych przeprowadzili między innymi Kotowski i Wójtowicz [8, 9].

Rurowy zbiornik połączony jest z systemem kanalizacyjnym poprzez komory wlotową i wylotową, w których następuje zmiana geometrii kanału do wymiarów wynikających z wymaganej objętości zbiornika. Zbiornik ten może być zlokalizowany on-line lub na by-passie. Na rysunku 3 przedstawiono rurowy zbiornik zabudowany w ciągu kanału systemu kanalizacyjnego, natomiast na rysunku 4 zbiornik usytuowany poza siecią.



Rys. 3. Usytuowanie zbiornika w linii kanału ściekowego (1 – komora wlotowa; 2, 3 – przegrody; 4, 5, 6 – komory; 7, 8, 9 – sekcje; 10 – kanał odpływowy; 11 – regulator odpływu; 12 – przewód awaryjny; 13 – komora wylotowa)



Rys. 4. Lokalizacja zbiornika rurowego w formie by-passa (oznaczenia jak na rys. 3)

W przypadku lokalizacji zbiornika w formie by-passa, w komorze wlotowej następuje rozdział przepływających ścieków. Objętość ścieków wynikająca z przepustowości hydraulicznej kanału odpływowego położonego poniżej komory wlotowej transportowana jest nim w kierunku komory wylotowej, zaś nadmiar ścieków jest kierowany do rurowego zbiornika, w którym następuje okresowe magazynowanie ścieków.

4. Model kanalizacyjnego zbiornika rurowego

Przepływy ścieków systemem kanalizacyjnym opisał de Saint Venant w 1871 roku układem równań quasi-liniowych typu hiperbolicznego. Równania te pozwalają na szczegółową analizę zmienności strumienia objętości ścieków i położenia ich zwierciadła (głębokości h) w czasie (t) i na długości kanału (x) oraz opisują możliwości wystąpienia spiętrzeń i przepływów wstecznych w kanałach. Dzięki

temu uzyskuje się pełen opis zjawisk, jakie pojawiają się w trakcie przepływu fali ścieków deszczowych siecią kanalizacyjną. Przedstawione poniżej równania de Saint Venanta wynikają z zasady zachowania masy i pędu:

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + v \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{A}{B} \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{q}{B} \\ \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + S_f - I - \frac{q}{gA} (v_q - v) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

gdzie: h – głębokość, m;

v – prędkość przepływu, m/s;

A – powierzchnia przekroju poprzecznego strumienia cieczy, m²;

B – szerokość zwierciadła, m;

q – równomierny dopływ boczny, m³/s

g – przyspieszenie ziemskie, m/s²;

I – nachylenie dna koryta,

S_f – spadek hydrauliczny wywołany tarciem,

v_q – składowa prędkości dopływu bocznego w dół kanału, m/s.

Ponieważ w równaniach tych występują parametry nieliniowe, przez to układ nie posiada rozwiązania analitycznego. Możliwe jest to przy zastosowaniu metod numerycznych.

Poniżej przedstawiono model działania rurowego zbiornika retencyjnego w sieci kanalizacyjnej, który ujmuje szereg charakterystycznych i występujących po sobie kolejnych faz napełniania. Fazy te zostały wyróżnione opisem warunków brzegowych w odniesieniu do napełnień i strumieni objętości ścieków. Na bazie tak sformułowanego modelu hydraulicznego opracowano odpowiadający mu model matematyczny bilansu ścieków w sekcjach zbiornika.

W oparciu o sporządzone schematy działania zbiornika na różnych etapach akumulacji ścieków (rysunki 5 do 8) złożonego z trzech sekcji, przepływ ścieków przez poszczególne sekcje opisano układami równań (2), (3) i (4). Założono też, że dopływ boczny do zbiornika nie występuje. Uwzględniając zmienne zależne Q i A układ równań (1) przekształcono do trzech postaci, tj. oddzielnie dla każdej sekcji zbiornika.

- Sekcja 7

$$\begin{cases} \frac{\partial A_1}{\partial t} + \frac{\partial Q_{dop}}{\partial x_1} = 0 \\ \frac{1}{g} \frac{\partial Q_{dop}}{\partial t} + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x_1} \frac{Q_{dop}^2}{A_1} + A_1 \frac{\partial h_1}{\partial x_1} = A_1 I - A_1 S_{f1} \end{cases} \quad (2)$$

- sekcja 8

$$\begin{cases} \frac{\partial A_2}{\partial t} + \frac{\partial Q_1}{\partial x_2} = 0 \\ \frac{1}{g} \frac{\partial Q_1}{\partial t} + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x_2} \frac{Q_1^2}{A_2} + A_2 \frac{\partial h_2}{\partial x_2} = A_2 I - A_2 S_{f2} \end{cases} \quad (3)$$

- sekcja 9

$$\begin{cases} \frac{\partial A_3}{\partial t} + \frac{\partial Q_2}{\partial x_3} = 0 \\ \frac{1}{g} \frac{\partial Q_2}{\partial t} + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x_3} \frac{Q_2^2}{A_3} + A_3 \frac{\partial h_3}{\partial x_3} = A_3 I - A_3 S_{f3} \end{cases} \quad (4)$$

gdzie: Q_{dop} – zmienny w czasie dopływ ścieków do zbiornika, m³/s;

Q_1 – strumień objętości ścieków przepływających przez otwór przepływowy H_1 , m³/s;

Q_2 – strumień objętości ścieków przepływających przez otwór przepływowy H_2 , m³/s;

I – spadek dna zbiornika;

h_1, h_2, h_3 – napelnienie ściekami odpowiednio w sekcji 7, 8 i 9, m;

v_1, v_2, v_3 – prędkość przepływu ścieków odpowiednio w sekcji 7, 8 i 9, m/s;

A_1, A_2, A_3 – powierzchnia przekroju poprzecznego strumienia ścieków odpowiednio w sekcji 7, 8 i 9, m²;

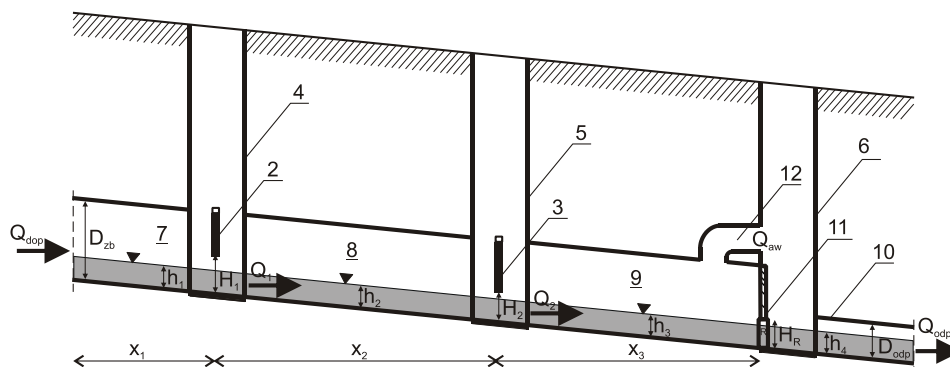
x_1, x_2, x_3 – długość sekcji 7, 8 i 9, m;

S_{f1}, S_{f2}, S_{f3} – spadek hydrauliczny wywołany tarciem odpowiednio w sekcji 7, 8 i 9.

W zależności od fazy działania zbiornika, przepływ przez poszczególne otwory w przegrodach może być traktowany jako wypływ niezatopiony lub zatopiony. Oznaczono je odpowiednio jako Q_n i Q_z . Wypływ niezatopiony Q_n występuje wówczas, gdy zwierciadło ścieków przed i za przegrodą znajduje się poniżej górnej krawędzi otworu przepływowego a ścieki przepływają przez ten otwór swobodnie. Natomiast w przypadku, gdy poziomy ścieków po obu stronach przegrody ukształtowane są powyżej górnej krawędzi otworu przepływowego, to wypływ z niego jest zatopiony. Ten typ wypływu występuje w fazach działania zbiornika rurowego, w których ścieki ulegają piętrzeniu.

4.1 Faza przepływowa

Przepływ ścieków pomiędzy sekcjami zbiornika odbywa się przez otwory przepływowe zlokalizowane przy dnie kanału, których wielkość zależy od stopnia redukcji strumienia objętości ścieków i reguluje się to wysokością zawieszenia przegród w komorach. Powierzchnia otworów powinna zapewniać przepuszczanie bez dławienia ścieków bytowych w okresie bezdeszczowym oraz podczas opadów o ustalonym natężeniu. W tej sytuacji cała objętość ścieków przepływa przez kolejne sekcje zbiornika bez piętrzenia, jak to zobrazowano na rysunku 5. W fazie przepływowej strumień objętości dopływu ścieków jest równy strumieniowi objętości odpływu na całej długości zbiornika, a ścieki przepływają grawitacyjnie przez wszystkie jego sekcje.



Rys. 5. Faza przepływowa w zbiorniku rurowym (D_{zb} – średnica zbiornika; D_{odp} – średnica kanału odpływowego; H_1, H_2 – wysokości otworów przepływowych; $h_1 = h_2 = h_3$ – wysokości napęlnienia ściekami w poszczególnych sekcjach zbiornika; h_4 – napęlnienie w kanale odpływowym, H_R – wysokość otworu przepływowego regulatora)

Działanie zbiornika rurowego w okresach pogody bezdeszczowej i przy występowaniu opadów o niskiej intensywności determinują określone warunki brzegowe, które są zależne od ustalonego funkcjonowania zbiornika w całym systemie kanalizacji grawitacyjnej. Przy wykorzystaniu schematu (rys. 5) ograniczenia te można zapisać w postaci:

- warunki brzegowe w zakresie napęlnień:

$$h_1 < H_1, h_2 < H_1, h_2 < H_2, h_3 < H_2, h_3 < H_R, H_1 > H_2 > H_R;$$

- warunki brzegowe w zakresie strumieni objętości ścieków:

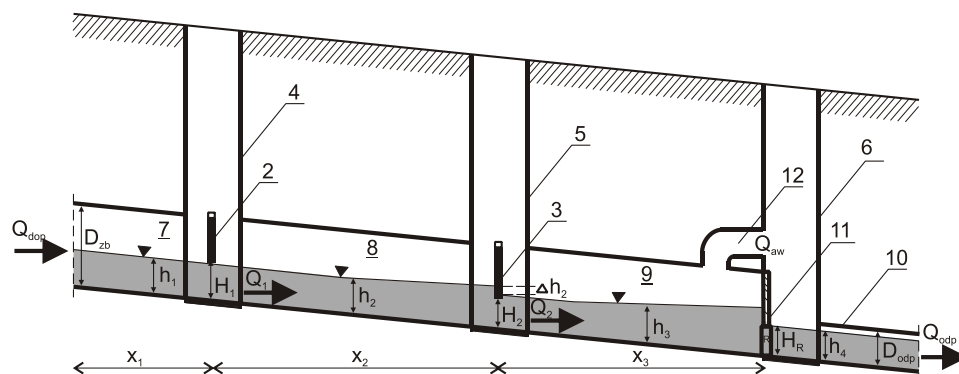
$$\begin{aligned} Q_{dop} &= Q_{odp}, Q_{aw} = 0; \\ \text{przy } h_1 < H_1 \text{ i } h_2 < H_1 &\rightarrow Q_1 = Q_{n1}; \\ \text{przy } h_2 < H_2 \text{ i } h_3 < H_2 &\rightarrow Q_2 = Q_{n2}. \end{aligned}$$

4.2 Fazy napęłniania sekcji zbiornika rurowego

Podczas opadów wymagających retencjonowania ścieków, działanie zbiornika rurowego określają warunki brzegowe, które zmieniają się w zależności od faz jego napęłniania i opróżniania. Analiza funkcjonowania tego typu zbiornika na kanalizacji ogólnospławnej pozwoliła na wyróżnienie szeregu charakterystycznych jego faz, oddzielnie podczas opisu procesu akumulacji ścieków i odmiennie przy opróżnianiu zbiornika.

Proces akumulacji ścieków w zbiorniku w kolejnych fazach jego napęłniania przedstawiono na rysunkach 6 i 7. Usytuowanie przegród w komorach na odpowiednio dobranych wysokościach i współdziałanie z nimi regulatora powoduje retencjonowanie ścieków, poczynając od sekcji położonej najniżej. Otwór przepływowy na wyjściu z sekcji 7, położonej najwyżej w zbiorniku powinien posiadać największą powierzchnię. Natomiast otwory w kolejnych sekcjach położonych względem siebie niżej powinny być mniejsze. Powstałe straty ciśnienia w trakcie przepływu ścieków przez otwory przepływowe w przegradach determinują położenie zwierciadła ścieków za przegradą. Różnicę ukształtowania poziomów ścieków przed i za przegradą oznaczono na rysunkach jako wysokości Δh . W związku z tym, warunki hydrauliczne jakie zostaną ustalone na przegradach na długości zbiornika powinny zapewniać grawitacyjny przepływ ścieków oraz ich akumulację w sekcjach zbiornika, zgodnie z fazami napęłniania opisanymi poniżej.

Zdławiony regulatorem odpływ powoduje stopniowe wypełnianie sekcji 9 i spiętrzenie w niej ścieków wraz z wytworzeniem zjawiska cofki z tej sekcji do sekcji 8, która jest zlokalizowana powyżej. W wyniku dalszego wzrostu natężenia dopływających ścieków odbywa się proces akumulacji ich nadmiaru, powodując ich piętrzenie i wypełnianie kolejnych sekcji.



Rys. 6. Faza chwilowego napęłniania dolnej sekcji w rurowym zbiorniku retencyjnym

Stan chwilowego napęłniania sekcji w zbiorniku rurowym został określony hydraulicznymi warunkami brzegowymi w zakresie odpowiadającym wystąpieniu granicznych napęłnień i strumieni objętości ścieków. Fazę tą opisują:

- warunki brzegowe w zakresie napęnień:

$$h_1 < H_1, h_2 < H_1, h_2 > H_2, h_3 > H_2, h_3 > H_R, h_4 = H_R, h_2 - h_3 = \Delta h_2;$$

- warunki brzegowe w zakresie strumieni objętości ścieków:

$$Q_{dop} > Q_{odp}, Q_{aw} = 0, Q_{dop} = Q_1, Q_1 > Q_2, Q_2 > Q_{odp};$$

$$\text{przy } h_1 < H_1 \text{ i } h_2 < H_1 \rightarrow Q_1 = Q_{n1};$$

$$\text{przy } h_2 > H_2 \text{ i } h_3 > H_2 \rightarrow Q_2 = Q_{z2}.$$

W kolejnej fazie w wyniku ciągłego dopływu nadmiaru ścieków następuje ich retencjonowanie w sekcjach zbiornika, jak to przedstawiono na rysunku 7.

Proces wypełniania kolejnych sekcji ściekami ogólnospławnymi określono w tej fazie działania zbiornika poprzez:

- warunki brzegowe w zakresie napęnień:

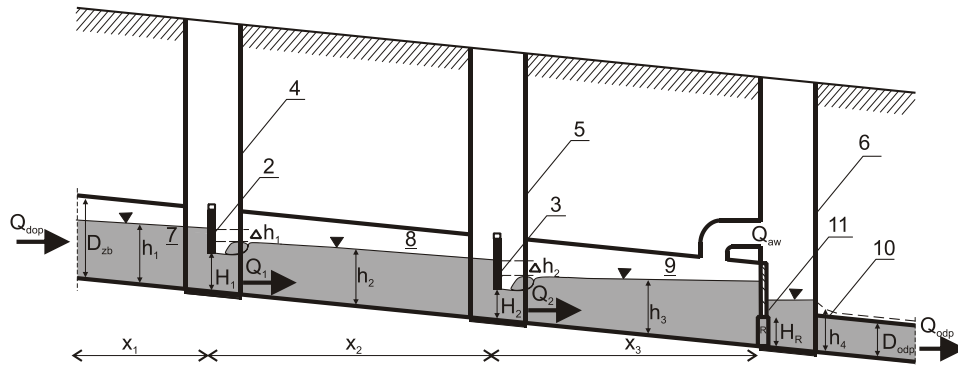
$$h_1 > H_1, h_2 > H_1, h_2 > H_2, h_3 > H_2, h_3 > H_R, h_2 - h_3 = \Delta h_2, h_1 - h_2 = \Delta h_1, \Delta h_2 > \Delta h_1;$$

- warunki brzegowe w zakresie strumieni objętości ścieków:

$$Q_{dop} > Q_{odp}, Q_{aw} = 0, Q_{dop} > Q_1, Q_1 > Q_2, Q_2 > Q_{odp};$$

$$\text{przy } h_1 > H_1 \text{ i } h_2 > H_1 \rightarrow Q_1 = Q_{z1};$$

$$\text{przy } h_2 > H_2 \text{ i } h_3 > H_2 \rightarrow Q_2 = Q_{z2}.$$



Rys. 7. Faza retencjonowania ścieków w wyżej położonych sekcjach zbiornika rurowego

4.3 Faza pełnej akumulacji

Proces wypełniania ściekami jest powtarzany na kolejnych odcinkach kanału, aż do momentu pełnej akumulacji ścieków w zbiorniku. Jest to faza, w której w sekcji zbiornika zlokalizowanej najwyżej, osiągnięty zostanie mak-

The diagram illustrates a multi-stage hydraulic structure, possibly a spillway or a series of weirs, divided into eight numbered regions (1-8). The structure is shown in a perspective view, with a sloped bottom and a horizontal top surface. The flow direction is from left to right, indicated by arrows labeled Q_{dop} , Q_1 , Q_2 , Q_{aw} , and Q_{odp} . Key parameters include heights h_1 , h_2 , h_3 , and h_4 ; horizontal distances x_1 , x_2 , and x_3 ; and various flow rates and depths labeled with numbers 1 through 11. The diagram is used to define the geometry and flow characteristics for the subsequent mathematical model.

Warunki hydrauliczne w zakresie napęnień i przepływów w fazie pełnej akumulacji ścieków w zbiorniku przedstawiają się następująco:

- $$h_1 > H_1, h_2 > H_1, h_2 > H_2, h_3 > H_2, h_3 > H_R, h_2 - h_3 = \Delta h_2, h_1 - h_2 = \Delta h_1, \Delta h_2 > \Delta h_1;$$

- $$\begin{aligned} Q_{dop} &= Q_{odp}, Q_{aw} = 0; \\ \text{przy } h_1 &> H_1 \text{ i } h_2 > H_1 \rightarrow Q_1 = Q_{z1}; \\ \text{przy } h_2 &> H_2 \text{ i } h_3 > H_2 \rightarrow Q_2 = Q_{z2}. \end{aligned}$$

Przekroje kanałów deszczowych i ogólnospławnych są w pełni wykorzystywane w niewielkim stopniu, często raz na kilka lat. W okresie znacznego nasilenia budownictwa i związanej z tym intensyfikacji istniejącej już zabudowy, szczególnego znaczenia nabierają wszystkie działania inżynierskie, które zmierzają do zwiększenia wskaźników wykorzystania przekrojów kanalizacyjnych. Nawet stosunkowo niewielkie ich zwiększenie, ale na znacznej liczbie kanałów może wpłynąć na podniesienie efektywności działania systemów odprowadzania ścieków. Wymownym przykładem tego jest rurowy zbiornik retencyjny, którego przestrzeń akumulacyjną uzyskuje się w wyniku zamontowa-

nia przegród w kanale. Zatem przy niskich nakładach finansowych można włączyć w objętość retencyjną całego systemu kanalizacyjnego niewykorzystaną dotychczas wolną przestrzeń istniejących już kanałów. Koncepcja ta może znacznie wpływać na obniżenie kosztów przeznaczanych na rozbudowę i modernizację systemów odprowadzających ścieki deszczowe i ogólnospławne.

Ustalone równania bilansu ścieków oraz graniczne warunki hydrauliczne działania zbiornika rurowego pozwalają na przeprowadzenie pełnej analizy przebiegu akumulacji ścieków w charakterystycznych fazach napełniania poszczególnych sekcji zbiornika rurowego.

Literatura

- [1] Dziopak J.: Modelowanie wielokomorowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.
- [2] Dziopak J., Słyś D.: Modelowanie zbiorników klasycznych i grawitacyjno-pompowych w kanalizacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.
- [3] Mrowiec M.: Określenie możliwości zmniejszania objętości retencyjnych zbiorników rurowych w kanalizacji deszczowej. Inżynieria i Ochrona Środowiska, nr 1/2004, tom 7, s. 107-119.
- [4] Kisiel A., Mrowiec M.: Rurowy zbiornik retencyjny jako proste, tanie i funkcjonalne rozwiązanie konstrukcyjne. Inżynieria Środowiska, Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, z. 16/2003, tom II, s. 52-58.
- [5] www.amitech.pl
- [6] Słyś D., Dziopak J.: Retencyjny kanał ściekowy. Zgłoszenie patentowe nr P.391198, 2009.
- [7] Dziopak J., Stec A., Słyś D.: Rurowy zbiornik retencyjny. Zgłoszenie patentowe nr P.391574, 2009.
- [8] Kotowski A., Wójtowicz P.: Analysis of hydraulic parameters of cylindrical vortex regulators. Environment Protection Engineering, vol. 34, 2008.
- [9] Kotowski A., Wójtowicz P.: Analysis of hydraulic parameters of conical vortex regulators. Polish Journal of Environmental Studies, vol. 19, 2010.

HYDRAULIC MODEL OF TUBULAR SEWAGE RESERVOIR. PART I. FILLING PHASES

Summary

The work presents the issue concerning the regulation of rainwater and combined wastewater flow with the help of tubular storage reservoirs which relief hydraulically the sewage systems. Operating principle of innovational tubular reservoir, which is the subject of patent application, is discussed. The hydraulic model is presented and boundary conditions of its operating during characteristic phases of individual sections filling are specified.