

Józef DZIOPAK
Agnieszka STEC
Politechnika Rzeszowska
Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju

MODELOWANIE ZBIORNIKÓW KLASYCZNYCH ODCIĄŻAJĄCYCH HYDRAULICZNIE SYSTEMY KANALIZACYJNE. CZ. II. MODEL MATEMATYCZNY AKUMULACJI ŚCIEKÓW DESZCZOWYCH

Przedstawiono model matematyczny funkcjonowania zbiornika retencyjnego przepływowego działającego w układzie grawitacyjnym w powiązaniu z siecią kanalizacyjną. Podano równania różniczkowe bilansu ścieków deszczowych opisujące proces ich akumulacji przy uwzględnieniu trzech charakterystycznych czasów trwania deszczu. Praca stanowi rozwinięcie tematu [1].

Oznaczenia

- A – powierzchnia pozioma zbiornika, m^2 ,
- A_m – miarodajna pozioma powierzchnia zbiornika przyjęta do obliczeń, m^2 ,
- c – częstość występowania deszczu miarodajnego do projektowania sieci kanalizacyjnej, lata,
- f – powierzchnia przekroju poprzecznego kanału odpływowego ze zbiornika, m^2 ,
- F_{zr} – powierzchnia zredukowana zlewni, ha,
- g – przyspieszenie ziemskie, m/s^2 ,
- h – wysokość napełnienia ścieków w zbiorniku, m,
- h_m – obliczona miarodajna wysokość napełnienia zbiornika, m,
- h_{max} – maksymalne napełnienie ścieków w zbiorniku, m,
- H – wysokość średniego opadu rocznego, mm/rok,
- QA – obliczeniowy dopływ ścieków do zbiornika wyznaczony dla deszczu miarodajnego, dm^3/s ,
- QO – zmienny w czasie odpływ ścieków ze zbiornika, dm^3/s ,
- Td – czas trwania deszczu, min,
- Te – czas, po upływie którego zbiornik osiąga największe napełnienie odpowiadające pełnej akumulacji ścieków w zbiorniku, s,

- t_k – czas koncentracji terenowej, min,
- tm – miarodajny czas trwania deszczu do wymiarowania kanału dopływowego do zbiornika, min,
- Tm – miarodajny czas trwania deszczu do wymiarowania zbiornika, min,
- To – czas trwania akumulacji ścieków do momentu całkowitego opróżnienia zbiornika, s,
- t_p – czas spływu ścieków deszczowych od najdalszego punktu zlewni do wymiarowanego przekroju kanału, min,
- t_r – czas retencji kanałowej, min,
- V – objętość ścieków w zbiorniku, m³,
- V_k – wymagana pojemność zbiornika, m³,
- μ – współczynnik przepływu kanału odpływowego.

1. Wprowadzenie

Regulowanie spływu wód deszczowych w kanalizacji jest kwestią, która rzutuje w decydujący sposób na wymiarowanie i racjonalne wykorzystanie sieci oraz na ochronę wód powierzchniowych. Realizuje się to między innymi poprzez stosowanie zbiorników chwilowo magazynujących głównie wody deszczowe, których obecność jest nieodłącznym elementem współczesnej sieci kanalizacyjnej. Pozwalają one w okresach szczytowych przepływów na przechwytywanie i czasowe zatrzymanie znacznych objętości ścieków z możliwością stopniowego ich odprowadzania do sieci znajdującej się poniżej zbiornika retencyjnego przy uwzględnieniu jej przepustowości hydraulicznej.

W miarę urbanizacji miast zdolność przepustowa istniejących kanałów często okazuje się daleko niewystarczająca, szczególnie biorąc pod uwagę centralne rejony miast. Efektywnym rozwiązaniem tego już powszechnego w skali międzynarodowej problemu w większej liczbie przypadków najodpowiedniejsze okazuje się czasowe akumulowanie nadmiaru ścieków, głównie deszczowych w zbiornikach retencyjnych. Przy ich zastosowaniu eliminuje się często konieczność niszczenia istniejących nawierzchni dróg i placów podczas wykonywania sieci uzupełniającej, której trasa zwykle jest prowadzona w bardzo trudnych warunkach miejscowych z uwagi na istniejące sieci infrastruktury podziemnej.

Od ponad dwudziestu lat są prowadzone interdyscyplinarne badania [2, 3, 4, 5], które między innymi pozwoliły na opracowanie dokładniejszych metod wymiarowania zbiorników retencyjnych charakteryzujących się zróżnicowanymi modelami hydraulicznymi ich funkcjonowania w systemach kanalizacji grawitacyjnej. Jednym z efektów podjętych prac teoretycznych było opracowanie racjonalnej i nowoczesnej metody wyznaczania miarodajnego czasu trwania deszczu krytycznego, podczas którego w zależności od przyjętego układu hydraulicznego zbiornika osiągnie on poszukiwaną obliczeniową pojemność użytkową. Cel ten osiągnięto, dokonując analizy teoretycznej procesu akumulacji ścieków w od-

miennych modelach hydraulicznych zbiorników klasycznych i wielokomorowych, wykorzystując w tym celu sformułowane równania i układy równań różniczkowych bilansu ścieków.

Podjęte prace teoretyczne pozwoliły na ustalenie zależności, które mają praktyczną użyteczność. Na ich podstawie opracowano procedury obliczeniowe do jednoznacznego określenia podstawowych wymiarów konstrukcyjnych zbiornika po wcześniejszym ustaleniu miarodajnego czasu trwania deszczu dla dowolnych wartości parametrów badanych i stałych. Zatem sformułowane procedury obliczeniowe służą do wyznaczenia wymaganej pojemności zbiornika V_k dla miarodajnego czasu trwania deszczu T_m , przy którym zbiornik osiąga pojemność V_k , maksymalnego dopuszczalnego napełnienia zbiornika h_m lub miarodajnej powierzchni poziomej zbiornika A_m , czasu opróżniania zbiornika T_o oraz czasu T_e , po upływie którego zbiornik osiągnie maksymalne napełnienie h_m .

Podstawowy cel osiągnięto w drodze eksperymentu teoretycznego, przy wykorzystaniu programowania numerycznego. Opracowano algorytmy do rozwiązywania równań i układów równań różniczkowych bilansu ścieków i programy symulacyjne do wyznaczania wartości podanych wcześniej parametrów wynikowych, tj. V_k , T_m , h_m lub A_m , T_o i T_e .

Korzystając z algorytmów programów komputerowych do badania akumulacji ścieków w jednokomorowych zbiornikach retencyjnych i komorze przepływowej zbiorników wielokomorowych, przygotowano i rozwiązano dużą liczbę zadań praktycznych w szerokim zakresie zmienności wartości parametrów charakteryzujących działanie zbiornika w określonej zlewni i systemie kanalizacji.

Otrzymane wyniki pozwoliły na określenie wpływu poszczególnych badanych parametrów na wielkość parametrów wynikowych oraz opracowania nomogramów do wymiarowania zbiorników retencyjnych. Wyniki rozwiązań numerycznych przedstawiono w formie graficznej, a w tabelach zestawiono wybrane wartości analizowanych parametrów.

Po sformułowaniu modelu matematycznego opisanego równaniami bilansu i zastosowaniu metod numerycznych do ich rozwiązywania, opracowano procedury wymiarowania zbiorników retencyjnych umożliwiające rozwiązanie dowolnego zadania przy wykorzystaniu odpowiednio przygotowanych i sprawdzonych programów obliczeniowych.

Dysponując odpowiednią bazą danych obliczeniowych, będącą wynikiem symulowania i rozwiązania dużej liczby zadań stanowiących logiczną całość w odniesieniu do możliwości ich wykorzystania do celów praktycznych, zestawiono je w formie tabelarycznej oraz opracowano nomogram do ustalania miarodajnych czasów trwania deszczu do obliczania zbiorników retencyjnych.

Sformułowany model matematyczny ma na celu poznanie badanego zjawiska fizycznego oraz wykorzystanie modelu do eksperymentu matematycznego polegającego na symulowaniu procesu akumulacji ścieków za pomocą opraco-

wanych algorytmów obliczeniowych przy wykorzystaniu opracowanych programów komputerowych.

2. Równania bilansu ścieków w zbiorniku o różnych czasach trwania deszczy

Przy wyznaczaniu równań bilansu ścieków dopływających i odpływających ze zbiornika rozpatrzono różne charakterystyki ich dopływu, niezależnie od metody przyjętej do ustalania miarodajnych przepływów w sieci kanalizacyjnej. Wyróżniono trzy odrębne przedziały zmienności, które występują w każdym zapisie w postaci funkcji lub w formie graficznej raz lub kilkakrotnie w analizowanym przedziale czasowym.

Rozpatrzono typowe hydrogramy dopływu ścieków deszczowych do zbiornika, w których kolejność występowania faz jest ściśle określona w procedurze obliczeniowej. W takim porządku zostały one opisane, biorąc pod uwagę specyfikę metody granicznych natężeń (rys. 1.).

Faza pierwsza trwa od momentu rozpoczęcia opadu do chwili osiągnięcia największego przepływu w kanale dopływowym i występuje ona w czasie trwania każdego opadu. Zmienność przepływu odzwierciedla w tej fazie prosta nachylona do osi czasu pod określonym kątem, która ma swój początek w osi współrzędnych (rys. 1a).

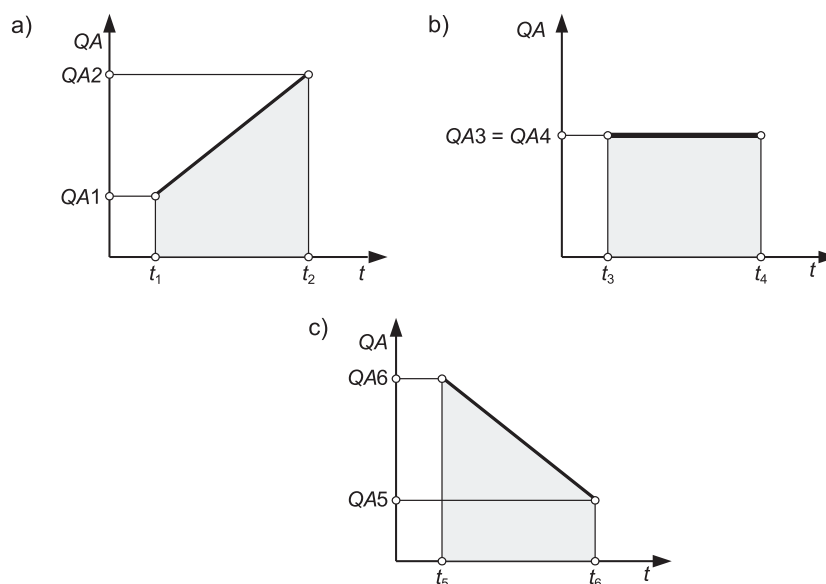
Drugą fazę charakteryzuje prosta równoległa do osi czasu i jest ona oddalona od niej o określoną wartość. Faza ta trwa od zakończenia fazy pierwszej do czasu zaniku opadu przy deszczach o czasach trwania $T_d > t_m$ i do czasu zakończenia spływu ścieków deszczowych ze zlewni do zbiornika przy deszczach o czasach ich trwania $T_d < t_m$ (rys. 1b), gdzie parametr t_m jest czasem obliczeniowym, wyznaczanym przy wymiarowaniu kolektora dopływowego do zbiornika ze znanej powszechnie formuły, według której $t_m = t_p + t_k + t_r$.

Faza trzecia jest lustrzanym odbiciem fazy pierwszej i trwa od momentu zakończenia fazy drugiej, a zatem od chwili zakończenia opadu przy deszczach o czasach trwania $T_d \geq t_m$ bądź $T_d < t_m$ do czasu zaniku przepływu w kanale dopływowym do zbiornika (rys. 1c).

Zatem w czasie obejmującym dwie pierwsze fazy występuje ciągły przyrost objętości ścieków deszczowych w zbiorniku i w tym okresie zbiornik wypełnia się. Natomiast faza trzecia jest najbardziej charakterystyczna. Okazuje się, że w pierwszej jej części następuje dalszy przyrost objętości zbiornika, który trwa do momentu, gdy zmienne w czasie wartości dopływu ścieków osiągną wartość równoważną wartości odpływu ze zbiornika. Oznacza to wystąpienie pełnej akumulacji ścieków w zbiorniku, a zbiornik osiąga największe napełnienie, co jest równoznaczne z osiągnięciem największej pojemności użytkowej zbiornika.

Od tej chwili odpływ przewyższa dopływ, co oznacza proces ciągłego opróżniania zbiornika. Z czasem zwiększa się różnica wartości między strumie-

niami odpływu i dopływu ścieków deszczowych do zbiornika. Proces opróżniania zbiornika trwa aż do momentu całkowitego jego opróżnienia.



Rys. 1. Charakterystyczne przedziały zmienności dopływu ścieków do zbiornika w czasie: a) przyrost strumienia dopływu, b) stały strumień przepływu ścieków, c) zmniejszanie się strumienia dopływu

Jak już ustalono na podstawie przeprowadzonych badań, których wyniki opublikowano w pracach [2, 3], miarodajny czas trwania deszczu do projektowania zbiornika mieści się w szerokim zakresie charakterystycznych czasów występowania opadów. Uwzględniając to, zostały opracowane trzy odrębne grupy równań różniczkowych, które obejmują deszcze o czasach trwania mieszczących się w trzech grupach, tj.:

- równych czasowi miarodajnemu do projektowania sieci ($T_d = T_m$),
- większych od czasu miarodajnego do projektowania sieci ($T_d > T_m$),
- mniejszych od czasu miarodajnego do projektowania sieci ($T_d < T_m$).

2.1. Równania bilansu ścieków przy deszczach o czasach trwania $T_d = tm$

Zmianę objętości dV ścieków deszczowych w zbiorniku w czasie dt można wyznaczyć z ogólnego równania bilansu (1), w postaci:

$$dV = A dh = Q_A(t) dt - Q_O(t) dt \quad (1)$$

gdzie: dh – zmiana poziomu napełnienia zbiornika dla rozpatrywanego przyrostu czasu dt ,

$QA(t)$ – zmienny w czasie dopływ ścieków deszczowych do zbiornika w metodzie granicznych natężeń określa wzór [6]:

$$QA(t) = \frac{6,63 H^{0,667} c^{0,333} F_z r}{Td^{0,667}} \quad (2)$$

$QO(t)$ – zmienny w czasie odpływ ścieków deszczowych ze zbiornika wyznacza się z zależności:

$$QO(t) = \mu f 2^{0,5} g^{0,5} h(t)^{0,5} \quad (3)$$

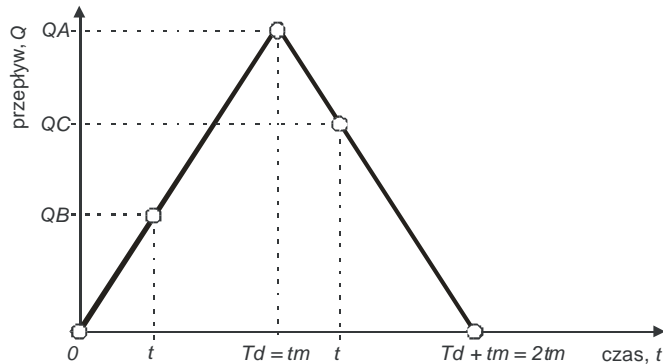
Równanie bilansu wyznaczono, korzystając ze schematu zmienności dopływu ścieków deszczowych do zbiornika (rys. 2.) w postaci funkcji $QA = f(t)$. Uwzględniając zapis graficzny, można ustalić następujące relacje:

$$\frac{QA}{QB} = \frac{tm}{t} \quad \text{stąd} \quad QB = \frac{QA}{tm} \cdot t \quad (4)$$

oraz

$$\frac{QC}{Td + tm - t} = \frac{QA}{tm} \quad \text{stąd} \quad QC = \frac{QA(Td + tm - t)}{tm} \quad (5)$$

gdzie przepływy QB i QC są zaznaczone na rys. 2.



Rys. 2. Hydrogram dopływu ścieków deszczowych do zbiornika retencyjnego przy uwzględnieniu opadu miarodajnego do wymiarowania kolektora dopływowego metodą granicznych natężeń

Przyrost objętości ścieków w zbiorniku A dh w czasie dt przy dopływie QB w fazie ciągłego przyrostu strumienia dopływu ścieków do zbiornika w zakresie $t [0, Tm]$ wyniesie odpowiednio (rys. 2.):

$$A dh = QB dt - \mu f 2^{0.5} g^{0.5} h(t)^{0.5} dt \quad (6a)$$

Korzystając z zależności (4) na przepływ QB i po jej wprowadzeniu do równania (6a), uzyskano zależność w postaci:

$$A dh = \frac{QA t dt}{tm} - 2^{0.5} g^{0.5} \mu f h(t)^{0.5} dt \quad (6b)$$

Po podzieleniu równania (6b) stronami przez $A dt$ oraz zastąpieniu zmiennej $h(t)^{0.5}$ inną zmienną z otrzymano ostatecznie równanie postaci:

$$\frac{dz}{dt} = C \frac{t}{z} - D \quad (7)$$

Równanie różniczkowe (7) jest ważne dla przedziału czasowego $t [0, tm]$, gdzie C i D są stałymi, które ujmują następujące zależności (rys. 2.):

$$C = \frac{QA}{2 A tm}, \quad D = \frac{2^{0.5} g^{0.5} \mu f}{2 A}.$$

Zmianę objętości ścieków w zbiorniku w czasie przy dopływie QC w fazie ciągłego spadku strumienia dopływu ścieków do zbiornika (rys. 2.) opisuje równanie (8) przy podstawieniu za QC zależności (5) w zakresie $t [tm, tm + Td]$:

$$A dh = QA dt + \frac{QATd dt}{tm} - \frac{QA t dt}{tm} + 2^{0.5} g^{0.5} \mu f h(t)^{0.5} dt \quad (8)$$

Wprowadzając ponownie za $h(t)^{0.5}$ zmienną z , otrzymano odpowiednio przy $h(t) = z^2$ zależność:

$$\frac{dh}{dt} = 2z \frac{dz}{dt} \quad (9)$$

Dzieląc stronami równanie (8) przez $A dt$ oraz wprowadzając nową zmienną z , uzyskano następującą postać równania różniczkowego:

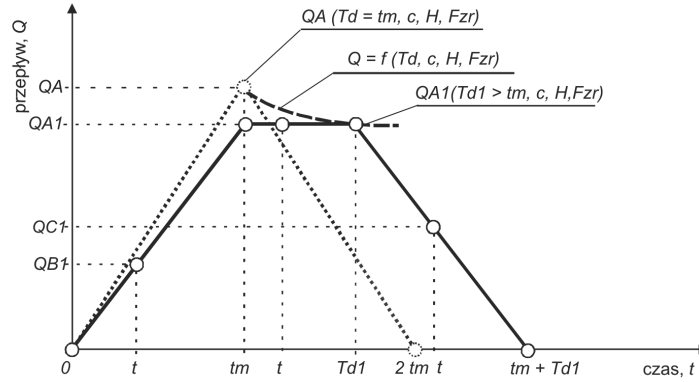
$$\frac{dz}{dt} = \frac{2E}{z} - \frac{Ct}{z} - D \quad (10)$$

Rozwiązanie analityczne równań (7) i (10) zostało zamieszczone w pracy [5], gdzie stałą E wyznacza się z zależności:

$$E = \frac{QA}{2 A}.$$

2.2. Równania bilansu ścieków przy deszczach o czasach trwania $Td > tm$

Deszcze o czasie trwania ($Td = Td1 > Tm$) dłuższym od czasu miarodajnego do wymiarowania kolektora dopływowego charakteryzują się trzema obszarami zmienności dopływu, dla których wyznaczono odmienne równania różniczkowe w oparciu o schemat przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3. Hydrogram dopływu ścieków deszczowych do zbiornika retencyjnego podczas opadów o czasach trwania dłuższych od deszczu miarodajnego do wymiarowania kolektora dopływowego

Podobnie jak poprzednio w zakresie $t [0, T_p]$ można zapisać, że przyrost objętości ścieków w zbiorniku w czasie dt przy dopływie $QB1$ wyniesie (rys. 3.):

$$\frac{dz}{dt} = C1 \frac{t}{z} - D \quad (11)$$

Równanie różniczkowe (11) stosuje się w przedziale czasowym liczonym od momentu rozpoczęcia opadu do czasu, w którym z całej zlewni ścieki deszczowe spływają do zbiornika. Natomiast $C1$ jest parametrem stałym:

$$C1 = \frac{QA1}{2 A tm}.$$

Przyrost objętości ścieków deszczowych $A dh$ w zbiorniku w czasie dt w zakresie $t [tm, Td]$ przy dopływie $QA1$ można wyznaczyć z równania (rys. 3.):

$$\frac{dz}{dt} = \frac{E1}{z} - D \quad (12)$$

gdzie $E1$ jest stałą, którą oblicza się z zależności $E1 = \frac{QA1}{2 A}$.

Zmianę objętości ścieków deszczowych w zbiorniku retencyjnym w czasie dt w zakresie $t [Td1, tm + Td1]$ przy dopływie $QC1$ pozwala wyznaczać równanie (rys. 3.):

$$\frac{dz}{dt} = \frac{K1}{z} - \frac{C1t}{z} - D \quad (13)$$

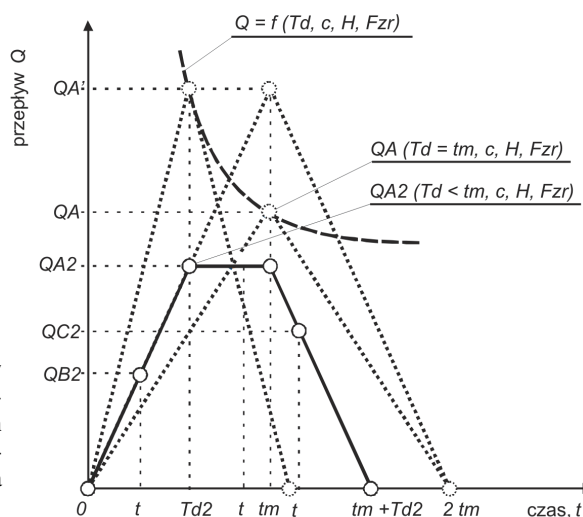
gdzie $C1$, D i $K1$ są stałymi charakteryzującymi opad, zlewnię, zbiornik, sieć kanalizacyjną i kanał odpływowy, które ujmują następujące zależności:

$$C1 = \frac{QA1}{2A tm},$$

$$K1 = \frac{QA1}{2A} \left(1 + \frac{Td1}{tm} \right).$$

2.3. Równania bilansu ścieków przy deszczach o czasach trwania $Td < tm$

Podczas badania procesu akumulacji ścieków deszczowych w zbiornikach odciążających hydraulicznie systemy kanalizacyjne rozpatrzono również specyficzny przypadek występowania opadu o czasie trwania $Td2 < tm$. Jak już to wykazano w szczególnych przypadkach, o wyborze deszczu miarodajnego do projektowania zbiornika retencyjnego decyduje opad krótkotrwały o bardzo dużej intensywności. Schemat przebiegu zmienności przepływu w kanale doprowadzającym ścieki deszczowe do zbiornika w czasie trwania takiego opadu przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Hydrogram dopływu ścieków deszczowych do zbiornika retencyjnego podczas opadów o czasach trwania krótszych od deszczu miarodajnego do wymiarowania kolektora dopływowego

Przyrost objętości ścieków deszczowych w zbiorniku w czasie dt w zakresie $t [0, Td2]$ przy dopływie $QB2$ będzie przebiegał zgodnie z równaniem (rys. 4.):

$$\frac{dz}{dt} = C2 \frac{t}{z} - D \quad (14)$$

gdzie $C2$ i D są stałymi, przy czym $C2 = \frac{QA2}{2 A tm}$.

Przyrost objętości ścieków deszczowych w zbiorniku w kolejnym przedziale czasowym w zakresie $t [Td2, Tm]$ w czasie dt przy dopływie $QA2$ można wyznaczyć z równania (rys. 4.):

$$\frac{dz}{dt} = \frac{E2}{z} - D \quad (15)$$

Równanie różniczkowe (15) jest ważne w przedziale czasowym $t [Td2, Tm]$, co oznacza, że przy czasie trwania deszczu krótszym od czasu przepływu strumień przepływu ścieków w kanale $QA2$ jest mniejszy od przepływu QA przy deszczu o czasie trwania $Td = tm$. Wyznaczono stałą $E2$, która ujmuje zależność następujących parametrów:

$$E2 = \frac{QA2 Td2}{2 A tm}.$$

Zmiana objętości ścieków deszczowych w zbiorniku $A dh$ w czasie dt w zakresie $t [tm, tm + Td2]$ przy dopływie $QC2$ wyniesie:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{K2}{z} - \frac{C2t}{z} - D \quad (16)$$

gdzie $K2$ jest stałą uwzględniającą parametry deszczu i zbiornika, którą można wyznaczyć z zależności:

$$K2 = \frac{QA2}{2A} \left(1 + Td2 + \frac{1}{tm} \right).$$

Wyznaczone równania różniczkowe bilansu (7) i (10) przy deszczach o czasach trwania $Td = tm$ i równania (11), (12) i (13) przy deszczach o $Td1 > tm$ oraz równania (14), (15) i (16) przy deszczach o $Td2 < tm$ można rozwiązać analitycznie, jednak większą użyteczność w praktyce daje ich rozwiązanie numeryczne.

3. Model matematyczny działania klasycznego zbiornika retencyjnego

Ustalenie równań różniczkowych przy uwzględnieniu poszczególnych obszarów zmienności dopływu ścieków deszczowych do zbiornika, przy równoczesnym uwzględnieniu warunków odpływu ze zbiornika, stanowi oryginalny sposób opisu ich akumulacji w tego typu zbiornikach jednokomorowych.

Korzystając ze schematów wzorcowych opisu zmienności dopływu, które zamieszczono na schematach, można podać znane równania różniczkowe bilansu ścieków dla typowego modelu matematycznego działania zbiornika klasycznego w całym zakresie zmieniających się wysokości napełnień ścieków, spełniających warunek $h_{max} \geq h \geq 0$, w postaci [2]:

$$\frac{dh}{dt} = C1t - C2h^{0,5} \quad \text{przy przepływach} \quad QA2 > QA1 \quad (17)$$

$$\frac{dh}{dt} = C6 - C2h^{0,5} \quad \text{przy przepływach} \quad QA2 = QA1 \quad (18)$$

$$\frac{dh}{dt} = C8 - C1t - C2h^{0,5} \quad \text{przy przepływach} \quad QA2 < QA1 \quad (19)$$

gdzie $C6$ i $C8$ są stałymi, które wyznacza się z następujących zależności:

$$C6 = QA A^{-1} \quad (20)$$

$$C8 = QA A^{-1} (1 + Td tm^{-1}) \quad (21)$$

Równania modelowe (17)÷(19) mają charakter równań uniwersalnych, które odzwierciedlają wszystkie możliwe kształty hydrogramów dopływu lub dowolnie zadane formuły matematyczne opisujące zmienność dopływu ścieków do zbiornika i ich akumulację w zbiorniku klasycznym i również w komorze przepływowej zbiorników wielokomorowych. Określają dynamikę zmian stanu napełnienia ścieków w komorze zbiornika klasycznego przy zmiennych dopływach $QA = f(t)$ i odpowiednio zmieniających się strumieniach odpływu ścieków ze zbiornika $QO = f(h)$ w czasie przy zadanych obszarach zmienności. Ich zasadniczą odrębność tkwi w relacjach na stałe, które występują w wymienionych równaniach różniczkowych bilansu ścieków. Stałe te, oznaczone kolejno $C1$, $C2$, $C6$ i $C8$, charakteryzują odpowiednio opad, zlewnię, geometrię zbiornika, sieć kanalizacyjną i kanał odpływowy.

4. Podsumowanie

W ostatnich latach obserwuje się duże zainteresowanie stosowaniem zbiorników deszczowych w kanalizacji. Ukazuje się ostatnio wiele publikacji sumujących doświadczenia związane z budową i eksploatacją zbiorników, które są przeznaczone również do podczyszczania ścieków deszczowych.

Wyznaczone równania różniczkowe bilansu pozwalają na przeprowadzenie pełnej analizy przebiegu akumulacji i opróżniania zbiornika w czasie trwania i po zakończeniu dopływu ścieków do zbiornika. Równania uwzględniają zmienność dopływu w czasie, możliwości retencyjne zbiornika oraz zdolność hydrauliczną kanału odpływowego.

Literatura

- [1] Dziopak J., Hala B., Stec A.: Modelowanie zbiorników klasycznych odciążających hydraulicznie systemy kanalizacyjne. Cz. I. Koncepcja modelu matematycznego akumulacji ścieków deszczowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, nr 262, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 51, Rzeszów 2009.
- [2] Dziopak J.: Model matematyczny zbiornika retencyjnego kanalizacji deszczowej. Monografia 31. Zakłady Graficzne Politechniki Krakowskiej, Kraków 1984.
- [3] Dziopak J.: Analiza teoretyczna i modelowanie wielokomorowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji. Monografia habilitacyjna 125. Zakłady Graficzne Politechniki Krakowskiej, Kraków 1992.
- [4] Dziopak J.: Modelowanie wielokomorowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.
- [5] Dziopak J., Słyś D.: Modelowanie zbiorników klasycznych i grawitacyjno-pompowych w kanalizacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.
- [6] Błaszczyk W., Stamatello H., Błaszczyk P.: Kanalizacja. Arkady, Warszawa 1983.

MODELING OF CLASSIC STORAGE RESERVOIRS FOR HYDRAULIC RELIEF OF SEWAGE SYSTEMS. PART. II. MATHEMATICAL MODELS OF STORM WATER ACCUMULATION

S u m m a r y

The work presents mathematical model of through-flow storage reservoir functioning in gravitational arrangement within sewage systems. Differential equations of storm water balance describing the accumulation process are given with consideration of three characteristic phases of rain longevity. This work is continuation of the paper [1].

Złożono w redakcji we wrześniu 2008 r.