

dr inż. Józef Dziopak

Instytut Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska
Politechniki Krakowskiej

NOWA KONSTRUKCJA KANALIZACYJNEGO ZBIORNIKA RETENCYJNEGO TYPU CONTRACT

Regulowanie spływem wód deszczowych w kanalizacji jest kwestią, która rzutuje w zasadniczy sposób na wymiarowanie i racjonalne wykorzystanie sieci, a także na ochronę wód powierzchniowych. Problem ten można rozwiązać poprzez uwzględnienie zbiorników współpracujących z siecią kanalizacyjną, które magazynują nadmiar ścieków deszczowych. Zbiorniki pozwalają w okresach szczytowych przepływów na przechwycenie i czasowe zatrzymanie znacznych objętości ścieków deszczowych z możliwością stopniowego ich odprowadzania do sieci kanalizacyjnej (znajdującej się poniżej zbiornika retencyjnego).

Postępująca z czasem urbanizacja miast ogranicza przepustowość istniejących kanałów ogólnospławnych i deszczowych, zwłaszcza na terenach większych miast. Dla rozwiązania tego nowego w warunkach polskich problemu, w większości przypadków najodpowiedniejsze okazuje się chwilowe akumulowanie nadmiaru ścieków deszczowych w zbiornikach retencyjnych. Ich zastosowanie eliminuje konieczność niszczenia istniejących nawierzchni dróg i placów oraz obiektów dla wykonania sieci uzupełniającej, często w bardzo trudnych warunkach terenowych. Mając na uwadze dotychczasowe rozwiązania, jak również nowe możliwości, zbiorniki retencyjne mogą znaleźć zastosowanie w szeregu odmiennych okolicznościach [1]. Celowość stosowania zbiorników retencyjnych w kanalizacji potwierdzają przede wszystkim względy ekonomiczne. Stwarzają one także możliwość kontroli i oczyszczania wód opadowych [2, 3].

Znane dotychczas rozwiązania konstrukcyjne zbiorników retencyjnych, zwanych dalej tradycyjnymi, są wyposażone w kanał odprowadzający, zbiornik akumulujący szczytowe przepływy ścieków deszczowych, w trakcie trwania opadów oraz kanał odprowadzający ścieki deszczowe w ilości uzależnionej od jego przepustowości i wysokości napełnienia zbiornika. Zbiornik tradycyjny pracuje w następującym układzie hydraulicznym:

- dopływ ścieków deszczowych odbywa się kanałem doprowadzającym w miejscu usytuowania górnej części zbiornika,
- przepływ ścieków deszczowych odbywa się od miejsca zrzutu (górną część zbiornika) w kierunku kanału odprowadzającego, zlokalizowanego na przeciwległym końcu zbiornika,

— ścieki deszczowe odpływają z dolnej części zbiornika na poziomie dna w ilości uzależnionej od wysokości napełnienia zbiornika i przepustowości kanału odprowadzającego.

Zrzut ścieków deszczowych do zbiorników tradycyjnych odbywa się w górnej części zbiornika jednokomorowego lub przed przegrodą zbiornika dwukomorowego.

Znane dotychczas zbiorniki retencyjne posiadają kilka wad, do których można zaliczyć:

- stosunkowo niski stopień wykorzystania przepustowości kanału odprowadzającego w trakcie trwania akumulacji ścieków deszczowych w zbiorniku,
- konieczność projektowania zbiorników o znacznej pojemności,
- częste zanieczyszczanie dna zbiornika przy deszczach, powodujących niskie natężenie przepływu w kanałach.
- komplikacje przy ustalaniu procedury obliczeniowej dla określenia niezbędnej maksymalnej objętości zbiornika i deszczu obliczeniowego (otrzymane wyniki mogą być obciążone znacznymi błędami i zależą głównie od przyjmowanych uproszczeń przy formułowaniu założeń wstępnych).

Prowadzone w Instytucie Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska Politechniki Krakowskiej prace studialno-badawcze w ramach programu rządowego PR-7 pozwoliły na opracowanie modelu matematycznego funkcjonowania przepływowego zbiornika retencyjnego konstrukcji tradycyjnej [4], pracującego w grawitacyjnych układach kanalizacji deszczowej. Sformułowany model rozwiązano analitycznie i numerycznie. Przygotowano program obliczeniowy do wymiarowania tych zbiorników oraz nomogramy do wyznaczania deszczu miarodajnego i maksymalnej niezbędnej objętości zbiornika [5]. Opracowany układ nomogramów daje możliwość badania wpływu maksymalnej wysokości napełnienia na poszukiwaną maksymalną objętość zbiornika, co ma bardzo istotne znaczenie przy prowadzeniu analizy ekonomicznej.

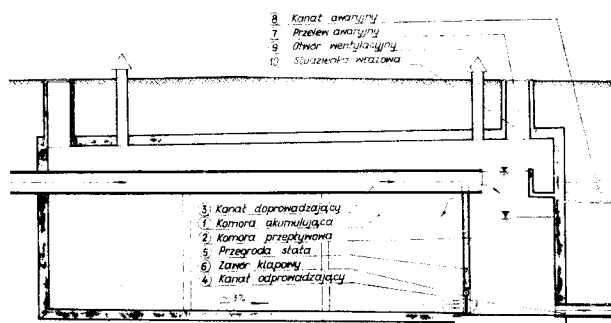
Charakterystyka układu hydraulicznego

Zbiornik retencyjny typu CONTRACT posiada konstrukcję oszczędnościową w zakresie rezerwowania pojemności użytkowej, przy zachowaniu wyższej zdolności akumulowania ścieków

deszczowych i innych, niż w rozwiązaniach tradycyjnych. Rozwiązanie hydrauliczne układu dopływ — akumulacja — odpływ zapewnia wykorzystanie w pełni przepustowości kanału odpływowego. Taka innowacja prowadzi do znacznej redukcji niezbędnej maksymalnej objętości zbiornika, nawet do 50%.

Przedstawione w niniejszej publikacji rozwiązanie zgłoszono do Urzędu Patentowego PRL pod Nr P 229354 i zostało opatentowane decyzją z listopada 1983 roku [6]. Istotą wynalazku jest to, że jedna z komór zbiornika (nazwana komorą akumulacyjną) oddzielona jest od drugiej komory (określoną komorą przepływową) przegrodą stałą i wyposażoną w zawór klapowy otwierany samoczynnie w jednym kierunku różnicą ciśnień hydrostatycznych. Ścieki deszczowe i inne doprowadzane są kanałem doprowadzającym do komory przepływowej, która znajduje się za przegrodą stałą. Istotny jest znikomy udział komory przepływowej w rezerwowanej pojemności użytkowej reprezentowanej przez komorę akumulacyjną zbiornika.

Zbiornik typu CONTRACT może mieć zastosowanie we wszystkich systemach kanalizacji. Przedmiot wynalazku uwidoczniono na przykładowym schemacie (rys. 1) przedstawiającym przekrój pionowy podłużny zbiornika retencyjnego.



Rys. 1 Schemat działania zbiornika retencyjnego konstrukcji oszczędnościowej typu CONTRACT

Zbiornik podzielono na dwie komory. Komorę akumulacyjną 1 i komorę przepływową 2, które oddzielono przegrodą stałą 5. Przegroda może być wykonana z betonu, stali lub innych materiałów. Ścieki deszczowe doprowadzane są kanałem doprowadzającym 3 do komory przepływowej 2 za tą przegrodą stałą 5. Przegroda stała wyposażona jest w zawór klapowy 6, otwierany samoczynnie w jednym kierunku różnicą ciśnień hydrostatycznych, umożliwiając przepływ wód deszczowych (opróżnianie) z komory akumulacyjnej 1 do komory przepływowej 2 po zakończeniu opadu. Komora przepływowa 2 posiada od kilku do kilkudziesięciokrotnie mniejszą objętość od objętości komory akumulacyjnej. Ścieki deszczowe dopływają kanałem doprowadzającym 3 do komory przepływowej 2, skąd odpływają one kanałem odprowadzającym 4 w ilości uzależnionej od zdolności przepustowej kanału odprowadzającego 4 i wysokości napełnienia komory przepływowej 2. Po napełnieniu ściekami deszczowymi komory przepływowej 2 do poziomu górnej krawędzi przegrody stałej 5 stanowiącej prze-

lew, który w przybliżeniu odpowiada maksymalnemu poziomowi ścieków w zbiorniku retencyjnym, nadmiar ścieków deszczowych przelewa się przez przegrodę do komory akumulacyjnej 1. Wypełnienie komory akumulacyjnej 1 trwa do momentu, w którym wielkość dopływu do komory przepływowej 2 jest równa wielkości odpływu kanałem odprowadzającym 4. Od tego momentu następuje opróżnianie obu komór. Komora akumulacyjna 1 opróżniana jest w okresach, kiedy posiada poziom napełnienia wyższy od poziomu ścieków deszczowych w komorze przepływowej 2. Zatem obydwie komory opróżniane są na przemian samoczynnie poprzez moment całkowitego zaniku dopływu, aż do chwili całkowitego opróżnienia tych komór.

Wprowadzenie zmian konstrukcyjnych zbiornika i układu hydraulicznego w przepływie ścieków deszczowych i innych zapewnia przez długi okres trwania opadu stały odpływ w kanale odprowadzającym 4. Zbiornik może być wyposażony w przelew awaryjny 7, poprzez który sływa nadmiar ścieków deszczowych do kanału awaryjnego 8, oraz posiada on otwory wentylacyjne 9 i studzienki włazowe 10.

Schemat przebiegu akumulacji ścieków deszczowych w zbiorniku tradycyjnym (rys. 2a) uwidacznia odmienną charakterystykę zmian stanu napełnienia zbiornika w czasie, w porównaniu z konstrukcją oszczędnościową (rys. 2b). W zbiorniku tradycyjnym napełnienie wzrasta wraz z czasem trwania deszczu do momentu, gdy maksymalna wartość odpływu $Q_{0\max}$ (rys. 2c), zrównoważy dopływ ścieków deszczowych do zbiornika (punkt E na rys. 2c). Zastosowanie komory przepływowej w zbiorniku typu CONTRACT o małej pojemności, pozwala na szybkie wypełnienie tej komory do poziomu maksymalnego h_m (rys. 2b). Po osiągnięciu tego poziomu (punkt C lub D na rys. 2c) ścieki deszczowe wypełniają komorę akumulacyjną, aż do czasu uzyskania równowagi ilościowej w układzie dopływ—odpływ. W tym okresie oznaczającym czas napełniania komory akumulacyjnej odpływ ze zbiornika jest stały.

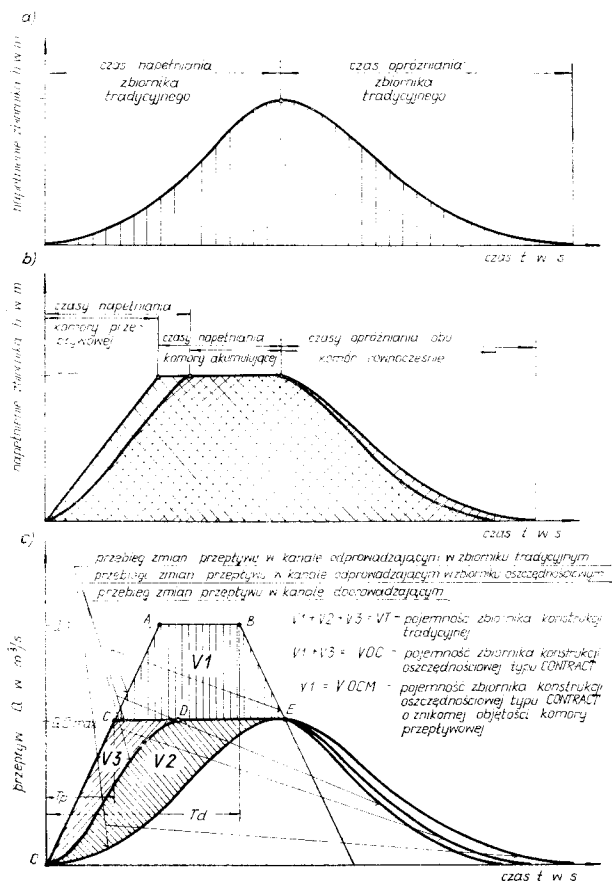
Porównanie hydrogramów odpływu ścieków deszczowych (rys. 2c) z dwóch odmiennych typów zbiorników uwidacznia w sposób jednoznaczny korzyści, wynikające z zastosowania komory przepływowej. Komora ta pozwala w pełni wykorzystać przepustowość kanału odprowadzającego, czego efektem jest znaczna redukcja niezbędnej maksymalnej pojemności zbiornika.

Pojemność zbiornika tradycyjnego można określić, wyznaczając pole powierzchni figury utworzonej między krzywą dopływu i krzywą odpływu ze zbiornika:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

Wyznaczenie niezbędnej objętości zbiornika oszczędnościowego typu CONTRACT sprowadza się do określenia powierzchni figury zawartej między krzywą dopływu, a krzywą charakteryzującą przebieg odpływu ze zbiornika nowej konstrukcji (rys. 2c):

$$V_{oc} = V_1 + V_3$$



Rys. 2 Przebieg akumulacji ścieków deszczowych w zbiorniku tradycyjnym i w zbiorniku oszczędnościowym typu CONTRACT

gdzie:

- V1 — objętość komory akumulującej
- V3 — objętość komory przepływowej.

Przy umiejętnym doborze wymiarów komory przepływowej objętość zbiornika konstrukcji oszczędnościowej można przyjmować w przybliżeniu:

$$V_{OCM} = V1$$

Zatem wymiarowanie zbiorników typu CONTRACT można sprowadzić do określenia pojemności komory akumulującej i polega ono na wyznaczeniu pola powierzchni trapezu F_{CABE} .

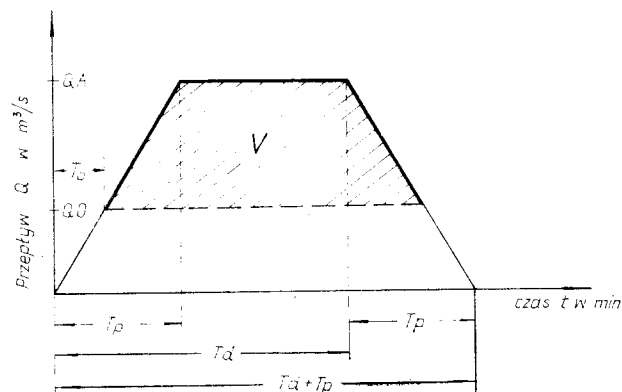
Metodyka wymiarowania

Przystępując do opracowywania metodyki wymiarowania zbiorników oszczędnościowych typu CONTRACT przeprowadzono analizę udziału pojemności i położenia komory przepływowej w układzie hydraulicznym obejmującym dopływ, zbiornik i odpływ. Ustalono równanie pozwalające określić wysokość napełnienia komory przepływowej dla dowolnego czasu, dla określonych wartości parametrów wyjściowych i można go zapisać ogólnie w następującej postaci:

$$h = a t^2 \quad (1)$$

Równanie ogólne (1) uzyskano po rozwiązaniu równania różniczkowego i obowiązuje od czasu $t=0$, tj. od momentu rozpoczęcia opadu do czasu, w którym zwierciadło ścieków deszczowych

wych w komorze przepływowej osiągnie poziom górnej krawędzi przegrody stałej stanowiącej przelew. W dalszej kolejności wyznaczono zależność na obliczenie pojemności komory akumulującej. Zadanie to sprowadza się do obliczenia pola powierzchni trapezu lub trójkąta i jest uzależnione od rozpatrywanego charakterystycznego czasu trwania deszczu. Przy ustalaniu miarodajnego czasu trwania deszczu i maksymalnej niezbędnej objętości zbiornika typu CONTRACT brano pod uwagę pojemność komory akumulującej (rys. 3).



Rys. 3 Schemat obliczeniowy do wyznaczania objętości komory akumulującej zbiornika retencyjnego typu CONTRACT

Pojemność komory akumulującej można określić z relacji:

$$V = (Q_A - Q_0) \left(T_d - \frac{Q_0 T_p}{Q_A} \right) \quad (2)$$

Po uporządkowaniu równania (2) i przyrównaniu pierwszej pochodnej $\frac{dV}{dT_d}$ do zera, uzyskano zależność określającą miarodajny czas trwania deszczu T_m , podczas którego zbiornik retencyjny osiągnie największą pojemność V_m . Wyznaczone równania ujmują następujące zależności:

$$T_m = \left(\frac{\frac{2K}{3}}{-\frac{2Q_0^2 T_p}{3K} + \sqrt{\left(\frac{2Q_0^2 T_p}{3K} \right)^2 + \frac{4}{3} K Q_0}} \right)^3 \quad (3)$$

$$V_m = \left(\frac{K}{T_m^{2/3}} - Q_0 \right) \left(T_m - \frac{Q_0 T_p}{K} - T_m^{3/3} \right)$$

gdzie:

- K — współczynnik charakteryzujący opad i zlewnię
- T_p — czas przepływu od najdalszego punktu zlewni do zbiornika w min
- Q_0 — maksymalny odpływ ze zbiornika przy napełnieniu maksymalnym w m^3/s
- T_m — czas trwania deszczu miarodajnego (obliczeniowego) w min
- V_m — maksymalna niezbędna objętość zbiornika w m^3 .

W oparciu o przeprowadzoną analizę możliwych do wystąpienia deszczów można wykazać, że miarodajny czas trwania deszczu do wy-

miarowania komory akumulującej najczęściej przyjmuje wartości większe od czasu przepływu, w wielu przypadkach osiąga wartości mniejsze od czasu przepływu, a w specyficznych sytuacjach czas ten jest równy czasowi przepływu ($T_m = T_p$).

Przygotowano i rozwiązano dużą ilość zadań uwzględniając skokową zmienność parametrów, charakteryzujących kolejno opad, zlewnię, sieć kanalizacyjną powyżej i poniżej zbiornika, zbiornik oraz przepustowość kanału odprowadzającego ścieki deszczowe, a oznaczających:

- wysokość napełnienia komory przepływowej
- częstotliwość występowania deszczu
- średnią roczną wysokość opadu
- pole przekroju poprzecznego kanału odprowadzającego
- czas przepływu w kanalizacji położonej powyżej zbiornika
- czas trwania deszczu
- powierzchnię zredukowaną zlewni.

Wyniki rozwiązań zostaną przedstawione w odrębnej publikacji.

Opracowano również nomogramy do wymiarowania zbiorników retencyjnych oszczędnościowych typu CONTRACT.

Wnioski

1. Zbiorniki retencyjne ścieków deszczowych stanowią interesujące rozwiązanie, umożliwiające regulowanie spływem ścieków deszczowych w kanalizacji. Jest to kwestia, która w decydujący sposób wpływa na wymiarowanie i racjonalne wykorzystanie sieci. Ponadto zbiorniki dają możliwość kontrolowania wielkości odpływu i ilości zanieczyszczeń zawartych w ściekach deszczowych oraz częściowo ich mechanicznego oczyszczania.

2. Konstrukcja oszczędnościowego zbiornika retencyjnego typu CONTRACT stanowi pewien wkład w usprawnienie istniejących rozwiązań konstrukcyjnych zbiorników, stosowanych w kanalizacji dla uzyskania wyższego wskaźnika

wykorzystania zdolności retencyjnej i znacznych oszczędności inwestycyjnych.

3. Zbiornik typu CONTRACT posiada konstrukcję oszczędnościową w zakresie rezerwowania pojemności użytkowej, przy zachowaniu zdolności akumulowania ścieków deszczowych wyższej niż w dotychczasowych rozwiązaniach.

4. Rozwiązanie hydrauliczne układu dopływ—akumulacja—odpływ zapewnia wykorzystanie w pełni przepustowości kanału odprowadzającego (stały odpływ przy dopływie większym od Q_0). Taka innowacja prowadzi do znacznej redukcji niezbędnej maksymalnej objętości zbiornika.

5. Przedstawione rozwiązanie posiada szczególne walory ze względu na:

- aspekt ekonomiczny (oszczędność materiałów, sprzętu i robocizny; mniejszy obszar pod zabudowę zbiorników),
- znaczne uproszczenie procedury obliczeniowej przy wymiarowaniu zbiorników,
- możliwość adaptacji zbiorników posiadających tradycyjną konstrukcję przy bardzo niskich nakładach finansowych.

LITERATURA

1. J. TABERNACKI: Deszczowe zbiorniki retencyjne w kanalizacji. Nowa technika w Inżynierii Sanitarnej. Wodociągi i Kanalizacja. Zeszyt Nr 11. Arkady Warszawa 1980.
2. M. DESBORDES: Quelques methodes de calcul des bassins de retenue des eaux pluviales. Centre Belge d'Etude et de Documentation des Eaux AVRL 1977 Nr 377.
3. H. SCHULZ: Berechnung von Ruckhaltebecken in der Kanalisation — ein Beitrag für den praktischen Gewässerschutz. WWT. 1975 Nr 12.
4. J. DZIOPAK: Kształtowanie i wykorzystanie zasobów wodnych. Opracowanie zasad rozwoju sieci kanalizacyjnej oraz technicznej ochrony wód KZM. Zadanie 02.03 w ramach programu rządowego PR-7. Etapy I—IV w latach 1980—83 Kraków.
5. J. DZIOPAK: Model matematyczny zbiornika retencyjnego kanalizacji deszczowej. Rozprawa doktorska. Politechnika Krakowska 1983.
6. J. DZIOPAK: Zbiornik retencyjny w kanalizacji. Patent PRL. Warszawa 1983.