

Józef Dziopak

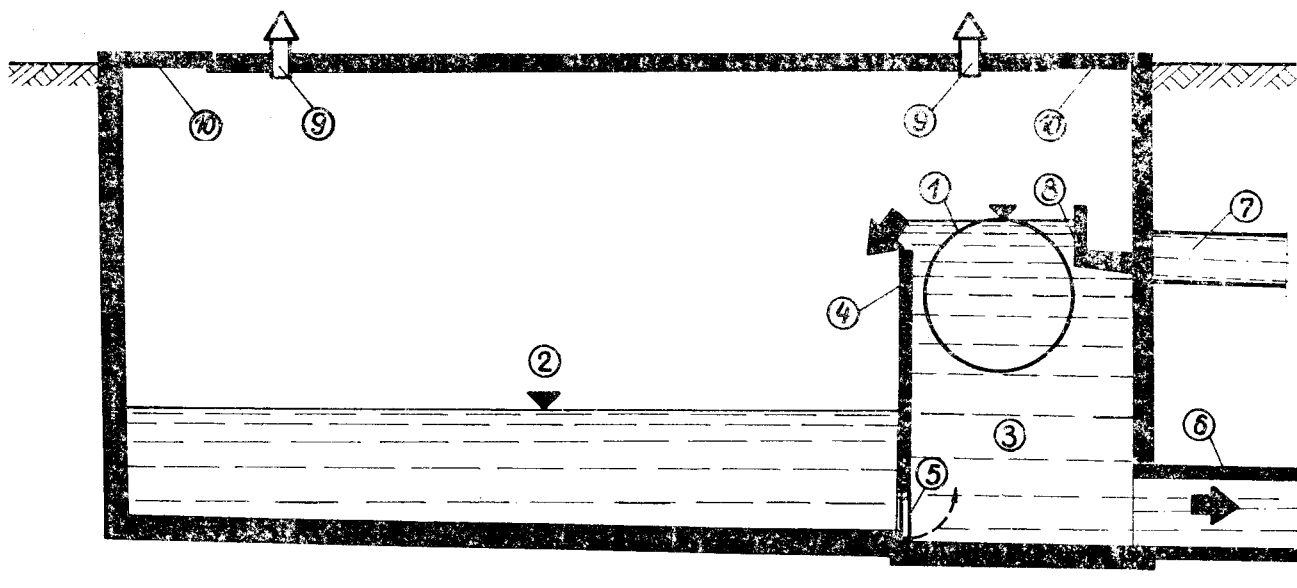
MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA I OBLICZANIE KANALIZACYJNYCH ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH TYPU CONTRACT

Niezależnie od przyjętego systemu kanalizacji, zasadnicza część kosztów związanych z budową sieci ponoszona jest na odprowadzanie ścieków deszczowych. Szacuje się, że około 15% ogólnych nakładów inwestycyjnych na budowę wodociągów i kanalizacji należy przeznaczyć na wykonanie sieci kanalizacyjnej, co stanowi około 5—8% ogólnych kosztów budowy miejskich zespołów mieszkaniowych. Wskaźniki charakteryzujące efektywność kanałów deszczowych i ogólnospławnych są bardzo niskie, z uwagi na znaczne zamrożenie środków finansowych i materiałowych. Jedną z możliwości postępu w tej dziedzinie jest regulowanie spływu ścieków deszczowych za pomocą zbiorników retencyjnych, które stanowią nieodłączny element współczesnej sieci kanalizacyjnej. Zasadność stosowania zbiorników retencyjnych potwierdzają przede wszystkim względy techniczno-ekonomiczne. Ponadto zbiorniki te umożliwiają kontrolowanie i oczyszczanie ścieków deszczowych, przy zastosowaniu procesów fizycznych lub chemicznych.

Stosowane dotychczas zbiorniki retencyjne (zwane dalej tradycyjnymi) posiadają szereg

wad, do których głównie należy zaliczyć: niski stopień wykorzystania zdolności hydraulicznej kanału odpływowego w okresie retencjonowania ścieków deszczowych w zbiorniku; zanieczyszczanie dna zbiornika przy przepływach nie przekraczających maksymalnej przepustowości kanału zlokalizowanego za zbiornikiem; konieczność projektowania zbiorników o znacznej pojemności. Mając na uwadze niedoskonałości zbiorników tradycyjnych, a zwłaszcza względy ekonomiczne, opracowano oszczędnościowy zbiornik retencyjny typu CONTRACT [1, 2], który stanowi nową generację rozwiązań w zakresie możliwości regulowania i uśredniania przepływu, zwłaszcza ścieków deszczowych, przy ich grawitacyjnym odprowadzaniu w dowolnym systemie kanalizacji. Istota nowego rozwiązania polega głównie na wprowadzeniu zmian w układzie hydraulicznym zbiornika (rys. 1), poprzez zastosowanie dwóch komór oddzielonych przegrodą stałą, wyposażoną w górnej części w przelew.

W dolnej części przegrody zamontowano samoczynnie działający zawór klapowy, otwierany w kierunku kanału odpływowego na skutek róż-

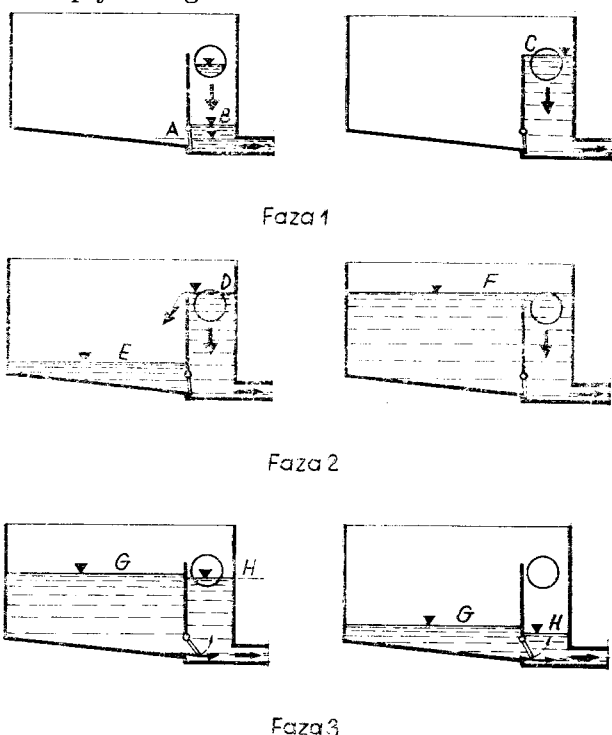


Rys. 1 Schemat działania zbiornika retencyjnego typu CONTRACT (1 — kanał dopływowy, 2 — komora akumulująca, 3 — komora przepływowa, 4 — przegroda stała, 5 — zawór klapowy, 6 — kanał odpływowy, 7 — kanał awaryjny, 8 — przelew awaryjny, 9 — otwór wentylacyjny, 10 — studzienka wjazdowa)

nicy ciśnień hydraulicznych. Zawór klapowy umożliwia odpływ ścieków z komory akumulującej do komory przepływowej podczas opróżniania zbiornika.

Akumulacja ścieków w zbiorniku typu CONTRACT

Nowy układ hydrauliczny pozwala na wyodrębnienie trzech charakterystycznych faz funkcjonowania zbiornika, zarówno podczas akumulacji ścieków deszczowych w kanalizacji deszczowej jak i ogólnospławnej. Faza pierwsza rozpoczyna się w momencie powstania opadu i trwa do czasu, gdy wysokość napełnienia komory przepływowej osiągnie poziom górnej krawędzi przegrody stałej, stanowiącej przelew. Poziom usytuowania przelewu wpływa bezpośrednio na wielkość odpływu w kanale i determinuje maksymalny odpływ ze zbiornika, przy założonej średnicy i charakterystyce hydraulicznej kanału odpływowego. W początkowym okresie cała objętość ścieków deszczowych dostarczana do komory przepływowej odpływa z niej aż do osiągnięcia poziomu A (rys. 2), odpowiadającego całkowitemu napełnieniu kanału odpływowego.



Rys. 2 Fazy akumulacji ścieków deszczowych w zbiorniku typu CONTRACT

Przy dalszym wzroście dopływu zwiększa się poziom ścieków w komorze przepływowej, a dynamika przyrostu zależy od bilansu między dopływem i odpływem ścieków. Po przekroczeniu poziomu A rozpoczyna się wypływ ścieków pod ciśnieniem (poziom B). Jego wielkość uzależniona jest od wielkości słupa ścieków nad osią kanału odpływowego. Pierwsza faza kończy się w chwili osiągnięcia poziomu C.

Faza druga rozpoczyna się w momencie zadziałania przelewu, gdy występuje przelewanie się pierwszych objętości ścieków z komory przepływowej do komory akumulującej. Można przyjąć, że w chwili rozpoczęcia zrzutu ścieków do komory akumulującej ustalają się warunki odpływu. Dalszy przyrost dopływu do zbiornika powoduje nieznaczny przyrost warstwy przelewających się ścieków przez górną kra-

wędź przegrody stałej (poziom D). Wysokość warstwy ścieków nad przelewem uzależniona jest głównie od długości przelewu i ilości przelewających się ścieków. W pierwszym etapie przelew działa jako niezatopiony i jego obliczenie można przeprowadzić w oparciu o ogólnie znane wzory. Na skutek zmienności dopływu ścieków, w zakresie przekraczającym możliwości odprowadzania ścieków ze zbiornika, następuje ciągły przyrost poziomu ścieków deszczowych w komorze akumulującej. Po zakończeniu opadu deszczu zmniejsza się dopływ ścieków do zbiornika i ustalają się warunki równowagi między przepływami na dopływie i odpływie ze zbiornika. Z czasem maleje tempo przyrostu poziomu ścieków w komorze akumulującej, przy równoczesnym zmniejszaniu się warstwy przelewających się ścieków przez przelew. Zakończenie fazy drugiej nastąpi w momencie osiągnięcia równowagi ilościowej między dopływem i odpływem, przy czym zbiornik wypełni się do maksymalnego poziomu F. Jest to najbardziej charakterystyczny moment funkcjonowania zbiornika, ponieważ kończy się proces jego napełniania, a osiągnięcie poziomu F jest możliwe podczas wystąpienia opadu o miarodajnym czasie trwania T_m . Faza trzecia przebiega od chwili, w której wielkość dopływu jest mniejsza od wielkości odpływu ($Q_A < Q_O$) i charakteryzuje się ciągłym opróżnianiem obydwu komór zbiornika. Wystąpi ciągłe obniżanie się poziomu ścieków w zbiorniku a ich wypływ z komory akumulującej będzie możliwy poprzez zawór klapowy, umieszczony w dolnej części przegrody. Otwarcie zaworu klapowego nastąpi samoczynnie na skutek różnicy ciśnień hydrostatycznych, jaka ustali się między poziomami ścieków w komorze akumulującej (G) i przepływowej (H). Różnica ta będzie zależna od sumarycznej wielkości strat hydraulicznych, powstałych przy przepływie ścieków przez otwór i strat zapewniających odpowiednie odchylenie klapy zaworu. Komory zbiornika opróżniane są samoczynnie od momentu całkowitego zaniku dopływu ścieków do zbiornika ($Q_A = 0$) aż do chwili całkowitego ich opróżnienia.

Możliwości stosowania zbiorników typu CONTRACT

Analiza procesu akumulacji ścieków (zwłaszcza deszczowych) w zbiorniku typu CONTRACT, upoważnia do podania szeregu zalet, przemawiających za ich powszechnym stosowaniem w dowolnych systemach odprowadzania ścieków. **A. Aspekt techniczno-ekonomiczny, polegający na zmniejszeniu rezerwowanych dotychczas objętości zbiornika średnio o około 30%**

Pozwala to na znaczne oszczędności inwestycyjne w zakresie materiałów budowlanych, sprzętu i robocizny. Redukcja objętości pozwala na zmniejszenie powierzchni terenu przeznaczonego pod budowę zbiornika lub na zmniejszenie niezbędnej wysokości jego napełnienia. **B. Zapewnienie równomiernego przepływu w kanale odpływowym przy dopływie $Q_A \geq Q_O \text{ max}$.** Kwestia ta jest bardzo istotna przy

usytuowaniu zbiornika przed oczyszczalnią ścieków, jako że równomierne obciążenie hydrauliczne urządzeń oczyszczalni wpływa korzystnie na efekt oczyszczania ścieków. Zbiorniki te można także lokalizować z powodzeniem w pompowniach kanalizacyjnych, na ujęciach wody i przed zakładami jej uzdatniania, dla zwiększenia zdolności produkcyjnej i efektu uzdatniania wody. Ponadto mogą być stosowane do regulowanego odprowadzania ścieków przemysłowych z dużych zakładów przemysłowych do kanalizacji miejskiej lub przemysłowej.

C. Możliwość adaptacji zbiorników tradycyjnych przy bardzo niskich nakładach finansowych. Umożliwia to przyjęcie do retencjonowania ścieków z nowej zlewni lub w ramach zlewni istniejącej, ale o znacznie zwiększonej wartości współczynnika spływu ścieków deszczowych. Dla zlewni o stabilnym odpływie — zbiornik CONTRACT pozwala na zwiększenie niezawodności pracy sieci kanalizacyjnej, poprzez możliwość retencjonowania opadów o prawdopodobieństwie występowania znacznie mniejszym od przyjętego do obliczania sieci. Ogranicza to częstość przepełnień i wielkość szkód powodowanych pracą sieci pod ciśnieniem.

D. Znaczne uproszczenie procedury obliczeniowej przy wymiarowaniu zbiorników. Nowy układ hydrauliczny pozwala na jednoznaczne ustalenie hydrogramu odpływu, co znacznie ułatwia ściśle określenie objętości i geometrii zbiornika dla dowolnego kształtu hydrogramu odpływu.

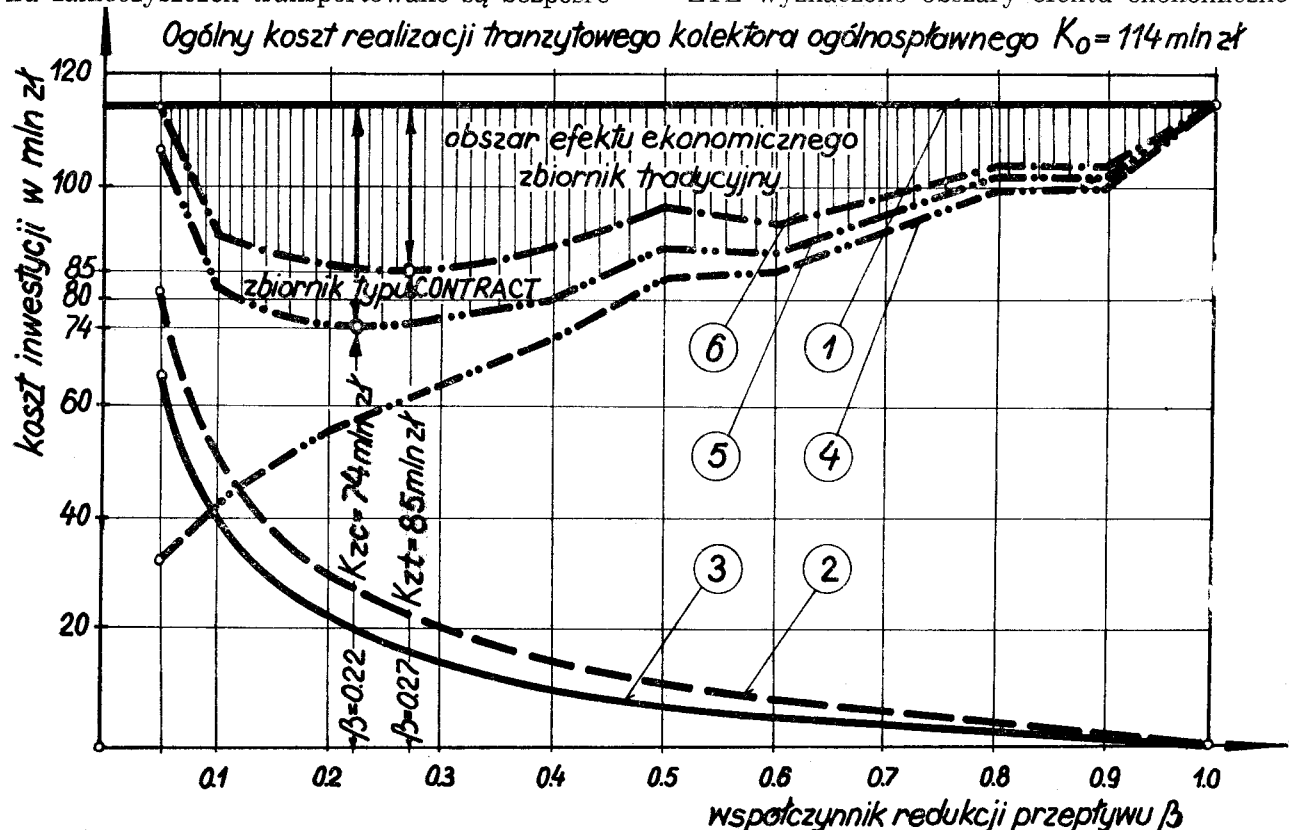
E. Sporadyczne zanieczyszczenie zbiornika. Przy dopływie $Q_A < Q_O$ ścieki o dużym ładunku zanieczyszczeń transportowane są bezpośred-

nio z komory przepływowej w kierunku oczyszczalni ścieków. Wypełnianie komory akumulującej ściekami deszczowymi w okresie intensywniejszych opadów, o stosunkowo niskim ładunku zanieczyszczeń ogranicza do minimum proces ich zagniwania i zasięg strefy ochrony sanitarnej wokół zbiornika. Zastosowanie odpowiednich przesłon w komorze przepływowej uniemożliwia przedostanie się części pływających i produktów ropopochodnych do komory akumulującej.

F. Sterowanie wypływem ścieków ze zbiornika. Zastosowanie ruchomych zastawek w górnej części przegrody stałej pozwala na sezonową regulację wielkości odpływu poziomem przelewu.

G. Samoczynne działanie i korzystna eksploatacja. Wprowadzenie dodatkowego wyposażenia w postaci przesłon, krat zabezpieczających zawór klapowy i kanał odpływowy, ruchomych zastawek oraz umiejscowienie tych elementów w komorze przepływowej ułatwia eksploatację zbiornika ograniczonego do małej powierzchni. Problem retencjonowania ścieków w zbiornikach jest aktualny i nabiera szczególnego znaczenia dla gospodarki narodowej, z uwagi na ograniczoną ilość środków przeznaczonych na rozbudowę i modernizację istniejących kanalizacji, niekiedy znacznie przeciążonych hydraulicznie.

Dla uwidocznienia możliwych do uzyskania oszczędności z zastosowania zbiornika typu CONTRACT dla odciążenia hydraulicznego sieci, przeprowadzono analizę wpływu współczynnika redukcji przepływu β na efekt ekonomiczny. Korzystając z obowiązujących cenników, określających ceny jednostkowe na etapie ZTE wyznaczono obszary efektu ekonomicznego



Rys. 3 Zależność efektu ekonomicznego od wartości współczynnika redukcji przepływu dla zbiornika tradycyjnego i typu CONTRACT

go (rys. 3) dla wariantu ze zbiornikiem tradycyjnym i typu CONTRACT.

Wyznaczony ogólny koszt budowy kolektora tranzytowego na sieci ogólnospławnej wynosi $K_0=114$ mln zł. Przy zastosowaniu zbiornika tradycyjnego na początku kolektora uzyskano najtańsze rozwiązanie dla $\beta=0,27$, a łączny koszt zbiornika i kolektora o mniejszym przekroju osiągnie kwotę $K_{zt}=85$ mln zł. Podobna analiza pozwoliła na wyznaczenie najtańszego rozwiązania z uwzględnieniem nowego typu zbiornika. Dla optymalnej wartości współczynnika $\beta=0,22$ łączny koszt inwestycji osiągnie zaledwie wartość $K_{zc}=74$ mln zł. Porównanie analizowanych wariantów wypada wyrażnie na korzyść rozwiązania ze zbiornikiem typu CONTRACT a dodatkowa oszczędność wynosi $K_{zt}-K_{zc}=11$ mln zł.

Wymiarowanie zbiorników typu CONTRACT

Zbiorniki retencyjne typu CONTRACT mogą znaleźć zastosowanie w szeregu odmiennych okolicznościach [3], a metodyka ich wymiarowania uzależniona jest głównie od funkcji jaką mają do spełnienia w danym systemie kanalizacji. Analizując nowy układ hydrauliczny przepływowego zbiornika w kanalizacji deszczowej, wyznaczono zależności na obliczanie deszczu miarodajnego i objętości komory akumulującej [4] dla hydrogramów dopływu ścieków deszczowych w kształcie dowolnego trapezu lub trójkąta. Miarodajny czas mieści się w szerokim zakresie czasów charakterystycznych. Przygotowano i rozwiązano dużą ilość zadań uwzględniając zmienność parametrów charakteryzujących opad, zlewnię, sieć kanalizacyjną powyżej zbiornika, geometrię zbiornika oraz zdolność hydrauliczną kanału odpływowego. Analiza wpływu wymienionych parametrów na wybór deszczu miarodajnego wykazała interesującą zależność deszczu miarodajnego od wartości współczynnika redukcji przepływu β . Na tej podstawie opracowano uniwersalny nomogram (rys. 4) do wyznaczania deszczu miarodajnego poprzez wyznaczenie współczynnika

deszczu miarodajnego ω [5] dla typowych hydrogramów dopływu.

Korzystanie z nomogramu sprowadza się do wyznaczenia współczynnika ω dla zadanej wartości współczynnika redukcji przepływu $\beta=QO \cdot QA(Tp)^{-1}$. Określenie wartości współczynnika ω umożliwia obliczenie deszczu miarodajnego dla znanej wartości czasu przepływu Tp ze wzoru:

$$Tm = Tp \cdot \omega^{-1} \quad (1)$$

Analiza zamieszczonego nomogramu umożliwia podanie istotnych zależności deszczu miarodajnego (Tm) od wartości współczynnika redukcji przepływu β . Wyodrębniono trzy oddzielne obszary zmienności współczynnika β , odpowiadające deszczom charakterystycznym:

$$Tm > Tp \text{ dla } 0,50 > \beta > 0,00 \quad (2)$$

$$Tm = Tp \text{ dla } \beta = 0,50 \quad (3)$$

$$Tm < Tp \text{ dla } 1,00 > \beta > 0,50 \quad (4)$$

Wymiarowanie zbiornika typu CONTRACT sprowadza się do wyznaczenia objętości komory akumulującej, którą można wyznaczyć z następującej zależności:

$$Vm = \left(QA(Tm) - QOmax \right) \left(Tm - \frac{QOmax \cdot Tp}{QA(Tm)} \right) 60 \quad (5)$$

gdzie:

$QA(Tm)$ — wartość przepływu w kanale dopływowym do zbiornika, obliczona dla wyznaczonego czasu Tm z równania (1), m^3/s

$QOmax$ — wartość przepływu w kanale odpływowym, przy maksymalnej wysokości napełnienia zbiornika, m^3/s

Tm — miarodajny czas trwania deszczu do wymiarowania zbiornika typu CONTRACT, min

Tp — czas przepływu ścieków deszczowych z sieci powyżej zbiornika, odpowiadający miarodajnemu deszczowi dla wymiarowania kanału dopływowego, min; $Tp = t_m = tp + tr + tk$

Vm — objętość komory akumulującej, m^3 .

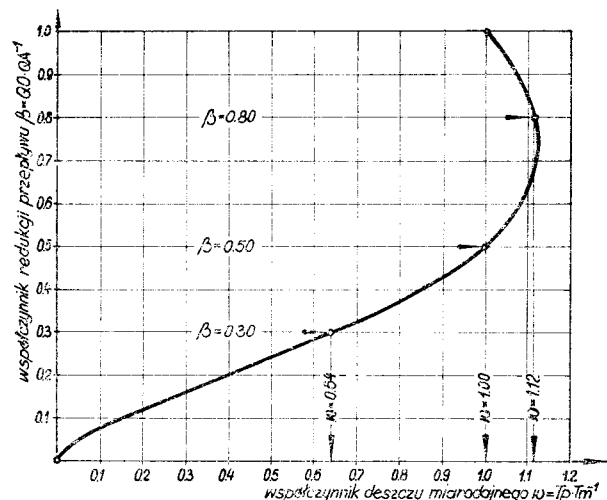
Objętość komory przepływowej jest znikoma w porównaniu z objętością komory akumulującej, a na jej geometrię mają wpływ wyłącznie względy eksploatacyjne.

Opracowano również metodykę obliczania tego typu zbiorników przed oczyszczalnią ścieków, pracujących w systemie kanalizacji ogólnospławnej, z uwzględnieniem przelewów burzowych. Wyniki tych badań zostaną przedstawione w odrębnej publikacji.

Przykłady obliczeniowe

Przykład 1

Obliczyć objętość zbiornika retencyjnego przepływowego typu CONTRACT na sieci kanalizacji deszczowej, jeżeli natężenie dopływu ścieków deszczowych $QA=3,0$ m^3/s dla czasu przepływu $Tp=32$ min. Maksymalny odpływ ze zbiornika $QOmax=0,90$ m^3/s . Średnica kanału odpływowego $d_0=0,50$ m a współczynnik wypływu $\mu=0,70$. Maksymalna wysokość napełnienia zbiornika $hmax=2,2$ m.



Rys. 4 Nomogram do obliczania deszczu miarodajnego przy wymiarowaniu zbiorników retencyjnych typu CONTRACT

Korzystając z nomogramu (rys. 4) wyznaczone miarodajny czas trwania deszczu dla $\beta=0,30$.

$$T_m = 32,0 : 0,64 = 50,00 \text{ min}$$

Objętość komory akumulującej obliczono z zależności (5):

$$V_m = (2,25 - 0,90) \left(50,0 - \frac{0,90 \cdot 32,0}{2,25} \right) 60 = 2156 \text{ m}^3$$

Przyjęto komorę przepływową o wymiarach $(3,0 \text{ m} \times 5,0 \text{ m})$ o objętości $V_p = 18,0 \text{ m}^3$.

Przykład 2

Wyznaczyć objętość zbiornika retencyjnego przepływowego typu CONTRACT na sieci kanalizacji ogólnospławnej. Natężenie dopływu ścieków komunalnych $Q_S = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ i ścieków deszczowych $Q_A = 1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ dla czasu przepływu $T_p = 42 \text{ min}$. Maksymalny odpływ ze zbiornika $Q_{Omax} = 0,20 + 0,80 = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Średnica kanału odpływowego $d_o = 0,60 \text{ m}$ o współczynniku wypływu $\mu = 0,75$. Maksymalna wysokość napełnienia zbiornika $h_{max} = 1,25 \text{ m}$.

Korzystając jak poprzednio z nomogramu (rys. 4) obliczono miarodajny czas trwania deszczu dla współczynnika redukcji przepływu $\beta = 0,50$

$$T_m = 42,0 : 1,0 = 42,0 \text{ min}$$

Wyznaczony deszcz miarodajny jest zatem równy czasowi przepływu. Objętość komory akumulującej wynosi:

$$V_m = (1,60 - 0,80) \left(42,0 - \frac{0,80 \cdot 42,0}{1,60} \right) 60 = 1008 \text{ m}^3$$

Wnioski

1. Przedstawione zalety zbiornika typu CONTRACT na bazie charakterystycznych faz akumulacji ścieków deszczowych uwidaczniają szerokie możliwości jego stosowania w praktyce projektowej. Wyodrębnienie komór mających do spełnienia odmienne funkcje w procesie napełniania i opróżniania zbiornika, daje możliwości dowolnego sytuowania komory akumulującej w odniesieniu do kanału dopływowego i odpływowego. Kwestia ta jest szczególnie istotna przy ustalaniu lokalizacji pod zabudowę zbiornika, w ramach istniejącej infrastruktury podziemnej. Poza walorami techniczno-ekonomicznymi ten typ zbiornika daje możli-

wość korzystnego etapowania jego rozbudowy, poprzez dobudowę jednej lub większej liczby komór akumulujących, w miarę postępującej z czasem urbanizacji terenów objętych kanalizacją.

2. Opracowana metodyka wymiarowania oszczędnościowych zbiorników, uzupełniona załączonym nomogramem, pozwala na jednoznaczne określenie deszczu miarodajnego i objętości komory akumulującej w dowolnym systemie kanalizacji. Odmienne kwestie w regulowaniu spływem ścieków należy rozpatrzyć przy projektowaniu nowych i rozbudowywanych lub modernizowanych systemach kanalizacji. Dla sieci nowych, optymalnego rozwiązywania należy poszukiwać poprzez analizę wpływu stopnia redukcji przepływu na ogólny koszt inwestycji. Retencjonowanie ścieków w istniejących systemach narzuca ograniczenia w zakresie wartości współczynnika redukcji przepływu oraz maksymalnej wysokości napełnienia zbiornika, limitujących grawitacyjny sposób odprowadzania ścieków w kanalizacji.

3. Zbiorniki retencyjne typu CONTRACT stanowią nową generację oszczędnościowych obiektów kanalizacyjnych (w zakresie regulowania i uśredniania przepływu) i powinny stać się podstawowym elementem współczesnej sieci kanalizacyjnej, w rozwiązaniach uzasadnionych ekonomicznie.

LITERATURA

1. J. DZIOPAK: Nowa konstrukcja kanalizacyjnego zbiornika retencyjnego typu CONTRACT. Ochrona Środowiska, Wyd. PZiTS, nr 434/3—3(20—21), Wrocław 1984.
2. J. DZIOPAK: CONTRACT-type storage reservoir. Polish Engineering. AGPOL. No 1, 1985.
3. J. DZIOPAK: Unowocześnienie konstrukcji i metod wymiarowania wybranych urządzeń sieci kanalizacyjnej KZM. Opracowanie oszczędnościowej konstrukcji zbiornika retencyjnego typu CONTRACT do regulowania spływem ścieków deszczowych w sieci KZM. Politechnika Krakowska, 1984 (ręka nie publikowana).
4. J. DZIOPAK: Réservoir d'accumulation type CONTRACT. Technique Polonaise. SIGMA. No 4, 1985.
5. J. DZIOPAK: Kanalizacyjne zbiorniki retencyjne w infrastrukturze podziemnej miast. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej Nr 31 11, Wrocław 1985.

J. Dziopak

POSSIBLE APPLICATIONS AND CALCULATIONS OF CONTRACT-TYPE STORAGE RESERVOIRS FOR THE NEEDS OF SEWER SYSTEMS

The characteristic working stages for the storage reservoir in the process of storm water accumulation are described. The two compartments (which have been designed to perform different functions) make the storage reservoir applicable to an arbitrary con-

ventional sewer system. A major advantage of the CONTRACT-type reservoir is the possibility of reducing the conventional volume by some 30% with no loss of uniform outflow of the storm water. Using the method of dimensioning CONTRACT-type units, a universal nomogram for determining the representative rainfall for typical hydrograms of storm water inflow has been established. The capital cost savings that might be achieved depending on the adopted value of the flow reduction factor, are graphically illustrated for a conventional and for a CONTRACT-type reservoir.