

Józef Dziopak

EFEKTYWNE SPOSOBY RETENCJONOWANIA ŚCIEKÓW W KANALIZACJI

Autor składa serdeczne podziękowania i wyrazy wdzięczności Panu Profesorowi Tadeuszowi Gabryszewskiemu — wspaniałemu Nauczycielowi, za wieloletnią opiekę, życzliwość i wszechstronną pomoc w pracy naukowej i dydaktycznej, za twórczą inspirację w poszukiwaniu najbardziej użytecznych rozwiązań inżynierskich z zakresu wodociągów i kanalizacji, a także za cenne uwagi podczas pisania niniejszej pracy.

Chociaż budowle kanalizacyjne są zaliczane do najstarszych obiektów sztuki inżynierskiej, jednak rozwój i widoczny postęp w tej dziedzinie jest zbyt powolny, zwłaszcza w naszym kraju. Systemy odprowadzania ścieków należą zdecydowanie do najdroższych systemów w całym kompleksie działającej infrastruktury podziemnej aglomeracji miejsko-przemysłowych i stanowią 5÷8 a nawet i więcej procent całkowitych kosztów budowy osiedli mieszkaniowych i są przeciętnie czterokrotnie wyższe od nakładów inwestycyjnych przeznaczonych na budowę oczyszczalni ścieków. Niezależnie od przyjętego systemu kanalizacji, zasadnicza część kosztów jest wydatkowana na budowę kanałów przeznaczonych do odprowadzania ścieków deszczowych.

Porównując roczną ilość ścieków bytowo-gospodarczych z ilością ścieków deszczowych, odprowadzanych w tym samym okresie należy stwierdzić, że dla większości miast Europy stosunek ten wynosi 4:1. Odmienne przedstawia się sytuacja przy wymiarowaniu przekrojów kanalizacyjnych, ponieważ kanały projektowane są na przepływy obliczeniowe, które trwają krótko i charakteryzują się bardzo dużą intensywnością przepływu. W projektowanych sieciach przepływ obliczeniowy ścieków deszczowych przewyższa kilkadziesiąt razy, a nawet ponad stokrotnie, maksymalny przepływ ścieków bytowo-gospodarczych. Wskaźniki charakteryzujące efektywność budowanych kanałów deszczowych i ogólnospławnych są bardzo niskie, gdyż ich pełne wykorzystanie zdarza się bardzo rzadko, często raz na kilka lat.

Za pierwszoplanowy w sferze gospodarki komunalnej uznano w kraju problem zaopatrzenia ludności w wodę. Kwestia odprowadzania ścieków była i jest nadal traktowana w pewnym stopniu jako zło konieczne i to ze zrozumiałych względów, gdyż prawidłowe rozwiązanie problemu usuwania ścieków pociąga za sobą konieczność realizacji bardzo kosztownych inwestycji. Właściwe, tj. racjonalne i efektywne ich projektowanie — chociaż uznawane przez źle zorientowanych w tematyce za proste — w rzeczywistości okazuje się trudne, a inwestycje kanalizacyjne są bardzo kłopotliwe w realizacji.

Przy podejmowaniu ważnych decyzji w sferze inwestycyjnej często hołdowano pogładowi, że

„ścieki jakoś odpłyną”. Problem ten nasilił się w Polsce w ostatnich latach, z uwagi na wyraźny postęp w zakresie zaopatrzenia ludności w wodę z dużych ujęć wody. Szczególnie drastycznie przedstawia się sytuacja na terenach wiejskich, gdzie sporadycznie za budową wodociągu realizuje się inwestycje do odprowadzania i unieszkodliwiania powstałych ścieków.

Niedoceniając w pełni problemu usuwania ścieków z aglomeracji miejsko-przemysłowych, a zwłaszcza z obszarów wiejskich oraz postępujące z czasem opóźnienie w stosowaniu efektywnych rozwiązań do odprowadzania, retencjonowania i unieszkodliwiania ścieków, stwarzają poważne zagrożenie stanu sanitarnego ludności miast i wsi w Polsce.

W praktyce zdecydowana większość projektowanych inwestycji komunalnych w zakresie odprowadzania ścieków dotyczy sieci rozbudowywanych i modernizowanych, a postępująca z czasem urbanizacja miast i wsi wpływa bezpośrednio na zwiększenie ilości odprowadzanych ścieków, których transport istniejącą kanalizacją często znacznie przewyższa zdolność hydrauliczną pracujących kanałów. Rozwiązanie tego powszechnego już w skali kraju problemu, który dotyczy większości dużych miast w Polsce, wymaga kompleksowego przeanalizowania efektywnych koncepcji możliwych do zastosowania, a uwzględniających istniejące doświadczenia, tendencje i osiągnięcia techniczne krajowe i stosowane powszechnie w świecie.

Opierając się na metodach powszechnie stosowanych w innych krajach [1, 2] oraz bazując na własnych propozycjach [3] w zakresie możliwych sposobów odprowadzania nadmiaru ścieków, należy każdorazowo przed wyborem właściwej koncepcji uzasadnić pełną analizą techniczno-ekonomiczną przyjęcia najtańszego spośród zastosowanych poniżej wariantów rozwiązań technicznych:

1 — Odprowadzenie nadmiaru ścieków w ramach istniejącej rezerwy w powierzchni czynnej kanału, stosując zbiornik retencyjny o pojemności uzależnionej od wartości współczynnika redukcji przepływu β lub zbiornik akumulujący nadmiar ścieków, opróżniany pompami po przejściu fali szczytowych przepływów.

2 — Gromadzenie szczytowych przepływów w pompowniach kanalizacyjnych ze zbiornikami wyrównawczymi dla okresowego przerzutu

ścieków w płytko ułożonych przewodach ciśnieniowych z PCW w chodnikach, do najbliższych położonych kanałów posiadających rezerwę w przepustowości hydraulicznej, decydującej o wydajności pomp lub do innych miejsc zrzutu ścieków.

3 — Odprowadzenie nadmiaru ścieków do niekonwencjonalnego systemu kanalizacji głębokiej, w przypadku wystąpienia niekorzystnych warunków gruntowo-wodnych, a problem ten obejmuje większy obszar miasta z komunikacją podziemną lub dotyczy zabytkowych dzielnic miasta.

4 — Odprowadzenie nadmiaru ścieków w okresie szczytowych przepływów do lokalnych oczyszczalni ścieków, skąd ścieki oczyszczone o wyrównanym odpływie można prowadzić korytem otwartym wprost do odbiornika (rzeka, staw, głębokie wyrobiska ziemne itd.) lub zapewnić transport tych ścieków płytko ułożonym przewodem ciśnieniowym do kanału deszczowego, z uwagi na wcześniejsze przejście fali kulminacyjnych przepływów w tym kanale.

5 — Odprowadzenie części ścieków do grawitacyjnej sieci uzupełniającej, stosując w zależności od istniejących możliwości dwa podstawowe warianty:

— budowa kanału tranzytowego poza obszarem zabudowy miejskiej przy korzystnych warunkach topograficznych i braku zasadności odprowadzania ścieków z obszaru dublowanej sieci,

— budowa sieci uzupełniającej w obrębie funkcjonowania infrastruktury podziemnej, nadziemnej i istniejącej zabudowy, traktując to rozwiązanie jako najdroższe i ostateczne, biorąc pod uwagę tradycyjny sposób budowy kanałów w wykopach otwartych.

Regulowanie spływu ścieków w kanalizacji jest kwestią, która wpływa w decydujący sposób na wymiarowanie i racjonalne wykorzystanie przekrojów kanalizacyjnych. Najbardziej znanym sposobem regulacji natężenia przepływu i wyrównywania stężenia zanieczyszczeń w ściekach jest budowa na sieci kanalizacyjnej zbiorników retencyjnych, odciążających hydraulicznie sieć i jej elementy na różnych etapach powstawania i transportu ścieków. Zbiorniki pozwalają w okresach szczytowych przepływów na przechwycenie i chwilowe zatrzymanie znacznych objętości ścieków z możliwością stopniowego ich odprowadzania do sieci położonej poniżej zbiornika o ograniczonej zdolności hydraulicznej, wyrażonej wartością współczynnika redukcji przepływu β .

Wobec dużych kosztów budowy stosowanie zbiorników nie jest zbyt powszechne, mimo że przyczyniają się one do zmniejszenia gabarytów i kosztów przewodów i innych obiektów kanalizacyjnych, a także do polepszenia efektów działania oczyszczalni ścieków i ochrony odbiorników.

Zainteresowanie kanalizacyjnymi zbiornikami retencyjnymi stale wzrasta i stanowią one obecnie nieodłączny element współczesnych sieci kanalizacyjnych [4—8]. Racjonalne ich stosowanie umożliwia przyłączenie do sieci istniejących systemów kanalizacyjnych nowych obszarów zurbanizowanych, bez przeciążania tych systemów, a zatem bez potrzeby ich rozbudowy. Spośród wielu celów ich stosowania czołowe miejsce zajmuje zbiornik retencyjny odciążający hydraulicznie sieć kanalizacyjną lub jej elementy.

Zasadność uwzględniania zbiorników przy projektowaniu nowych, rozbudowywanych i modernizowanych systemów usuwania ścieków, powinna potwierdzać przede wszystkim pełna analiza techniczno-ekonomiczna [9]. Inne kryteria obowiązują przy ustalaniu założeń niezbędnych dla opracowania metody wymiarowania zbiorników odciążających sieć hydraulicznie [3, 10—12], zbiorników akumulacyjnych dla zatrzymania pierwszej fali zanieczyszczeń ścieków deszczowych [13] i zbiorników oczyszczających, pełniących funkcję oczyszczalni mechanicznej tych ścieków, które jako częściowo oczyszczone są odprowadzane bezpośrednio do odbiornika [14, 15].

Zasadniczą przeszkodą w powszechnym uwzględnianiu zbiorników retencyjnych przy projektowaniu systemów kanalizacyjnych był brak racjonalnej metodyki ich wymiarowania. Uważając zbiornik za podstawowy element dowolnego systemu usuwania ścieków podjęto szerokie badania, które pozwoliły na opracowanie teoretycznych podstaw opisu zjawiska akumulacji ścieków deszczowych w zbiorniku [10, 16]. Sformułowany model matematyczny funkcjonowania konwencjonalnego zbiornika przepływowego umożliwia badanie dynamiki zmian stanu jego napełnienia w czasie dla dowolnej zlewni i przyjętego ciągu czasów trwania deszczu, określonego w oparciu o metodę granicznych natężeń.

Numeryczne rozwiązanie modelu i opracowane algorytmy obliczeniowe [17—19] stworzyły szerokie możliwości praktycznego symulowania zmiennych warunków dopływu zależnych od opadu, zlewni, sieci kanalizacyjnej powyżej zbiornika i warunków odpływu ścieków deszczowych, dla przyjętej geometrii zbiornika i założonego stopnia redukcji przepływu. Istnieje możliwość wyznaczenia czasu trwania deszczu miarodajnego i niezbędnej objętości zbiornika dla zadanych wartości parametrów wyjściowych.

Zbiorniki retencyjne mogą znaleźć uzasadnione zastosowanie w szeregu odmiennych okolicznościach, a metodyka ich wymiarowania uzależniona jest od funkcji jaką mają do spełnienia w danym systemie. Na etapie projektowania nowych, rozbudowywanych i modernizowanych systemów kanalizacyjnych, należy brać pod uwagę dwie odmienne kwestie:

— Parametrem wyjściowym dla sieci istniejących jest maksymalna wysokość napełnienia zbiornika zapewniająca grawitacyjny przepływ ścieków w kanałach oraz dopuszczalna wartość odpływu za zbiornikiem.

— Podstawowym parametrem dla sieci nowych jest współczynnik redukcji β , który ma bezpośredni wpływ na wybór optymalnego rozwiązania poprzez wyznaczenie obszaru efektu ekonomicznego [20].

Mając na uwadze ważność i aktualność problemu efektywnego odprowadzania i retencjonowania ścieków dla gospodarki narodowej oraz istniejące poważne zagrożenie stanu sanitarnego ludności miast i wsi, a zwłaszcza istotne niedoskonałości w układach hydraulicznych stosowanych dotychczas konwencjonalnych zbiorników retencyjnych do odciążenia hydraulicznego sieci, obiektów i urządzeń kanalizacyjnych, podjęto kompleksowe badania naukowe i prace inżynierskie, które pozwoliły na opracowanie nowej generacji rozwiązań technicznych do optymalnego regulowania spływu ścieków w dowolnym systemie kanalizacji [21—27]. Opracowane podstawy teoretyczne wymiarowania konwencjonalnych zbiorników retencyjnych [10] stanowią podstawę do określania stopnia efektywności oszczędnościowych typów zbiorników i wyboru optymalnego innowacyjnego rozwiązania, w zależności od funkcji jaką ten obiekt pełni w określonym układzie lub systemie kanalizacji.

Akumulacja ścieków w niekonwencjonalnych zbiornikach retencyjnych

Biorąc pod uwagę szereg niedoskonałości stosowanych dotychczas zbiorników retencyjnych [23] o układzie konwencjonalnym oraz brak racjonalnej metody ich wymiarowania [3, 10], podjęto badania studialno-badawcze i innowacyjne, które pozwoliły na opracowanie siedmiu oryginalnych typów zbiorników, zwanych dalej niekonwencjonalnymi, z których cztery podstawowe zaprezentowano poniżej, z uwagi na ich szczególne walory techniczno-ekonomiczne i funkcjonalne.

Zbiorniki typu CONTRACT [20, 24, 28, 29], COMPLEX [21, 23], COMPLEMENT [21, 26, 30] i WISKARB [23, 27, 31] charakteryzują się odmiennymi układami hydraulicznymi w relacji dopływ — akumulacja — odpływ, których dokładna znajomość określa zasadność i zakres zastosowań wymienionych rozwiązań. Podstawowymi kryteriami wyboru optymalnego typu zbiornika są przede wszystkim: minimalna objętość ze względu na koszt inwestycji i równomierność odpływu ścieków ze zbiornika, mając na względzie obciążenie hydrauliczne i efektywne wykorzystanie sieci, obiektów i urządzeń kanalizacyjnych, przeznaczonych do odprowadzania i unieszkodliwiania ścieków.

W pracy przedstawiono w bardzo ogólnym zarysie istotę działania, układy hydrauliczne,

przebieg akumulacji oraz zalety i możliwości stosowania poszczególnych rozwiązań. Niezależnie od podanych powyżej kryteriów, głównie o wyborze ekonomicznego typu zbiornika decyduje miarodajny kształt hydrogramu dopływu ścieków do tego urządzenia.

Zbiornik retencyjny typu CONTRACT

Istota podstawowego z serii niekonwencjonalnych rozwiązań sprowadza się do wydzielenia dwóch komór spełniających odmienne funkcje, oddzielonych od siebie przegrodą stałą, wyposażoną w zawór klapowy umieszczony w strefie przydennej zbiornika, otwierany samoczynnie różnicą ciśnień hydrostatycznych [21, 24] w kierunku kanału odpływowego. Ścieki dopływają do komory przepływowej o małej pojemności, a po jej wypełnieniu (przy ciągłym odpływie ścieków uzależnionym od wysokości napełnienia i zdolności hydraulicznej kanału odpływowego) nadmiar ścieków przepływa przez górną krawędź przegrody stałej do komory akumulującej (rys. 1b). Faza napełniania zbiornika odbywa się przy zamkniętym zaworze klapowym i trwa do momentu, w którym ustali się równowaga między wielkością dopływu i odpływu ze zbiornika. Faza opróżniania komory akumulującej rozpoczyna się po obniżeniu się poziomu ścieków w komorze przepływowej o wysokość zapewniającą otwarcie zaworu klapowego [28, 29]. Przy całkowitym zaniku dopływu ścieki wypływają z obydwu komór samoczynnie przy otwartym zaworze klapowym, aż do chwili całkowitego opróżnienia zbiornika.

Na tle rozwiązania konwencjonalnego (rys. 1a) przedstawiono schemat funkcjonowania zbiornika typu CONTRACT w fazie napełniania (rys. 1b) i w fazie opróżniania zbiornika (rys. 1c), działającego w kanalizacji deszczowej oraz fazę całkowitego napełniania zbiornika (rys. 1d) zlokalizowanego w systemie kanalizacji ogólnospławnej lub rozdzielczej, odprowadzającej ścieki bytowo-gospodarcze lub przemysłowe. Obniżenie poziomu dna w komorze przepływowej ma zapewniać (rys. 1d) całkowite opróżnienie komory akumulującej w całym cyklu akumulacji w okresach minimalnych przepływów ścieków w kanale dopływowym. Eliminuje się w ten sposób oddziaływanie zwierciadła ścieków w komorze przepływowej na położenie zaworu klapowego.

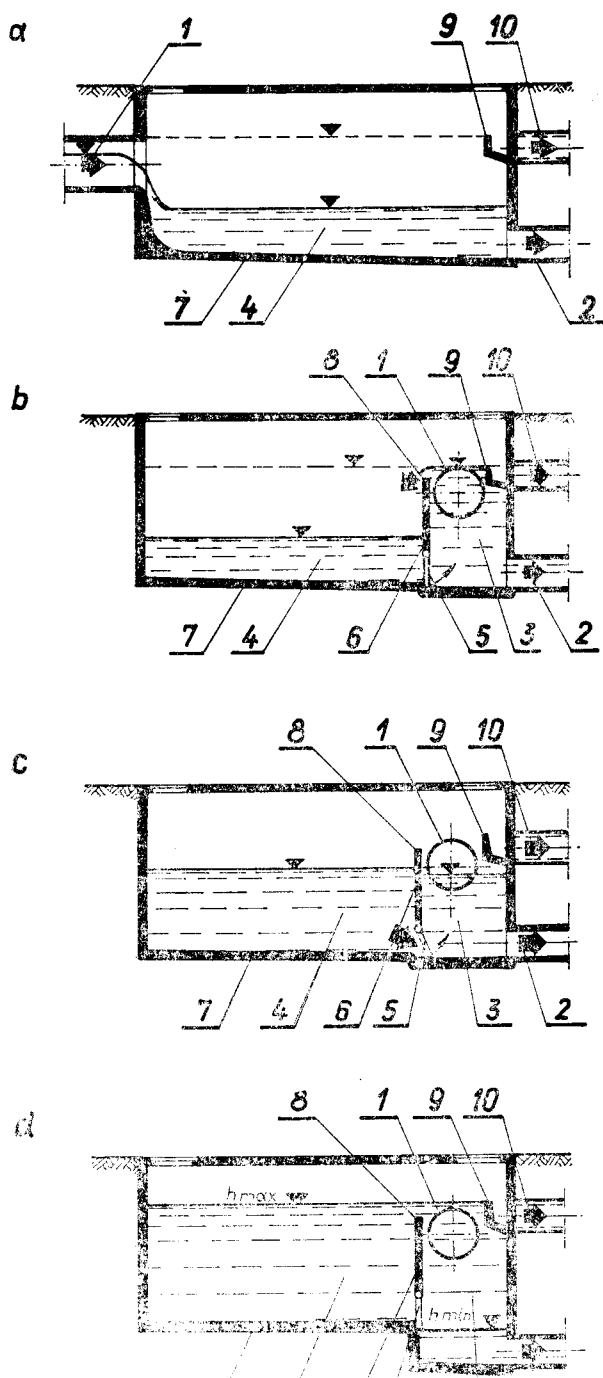
Zastosowana innowacja stanowi znaczący wkład do efektywniejszego wykorzystania przestrzeni retencyjnej, a w konsekwencji do wymiernych oszczędności inwestycyjnych [20]. Wpływa na lepsze funkcjonowanie oraz daje możliwość swobodnego etapowania budowy, rozbudowy i modernizacji działających układów i systemów usuwania ścieków.

Zbiornik retencyjny typu COMPLEX

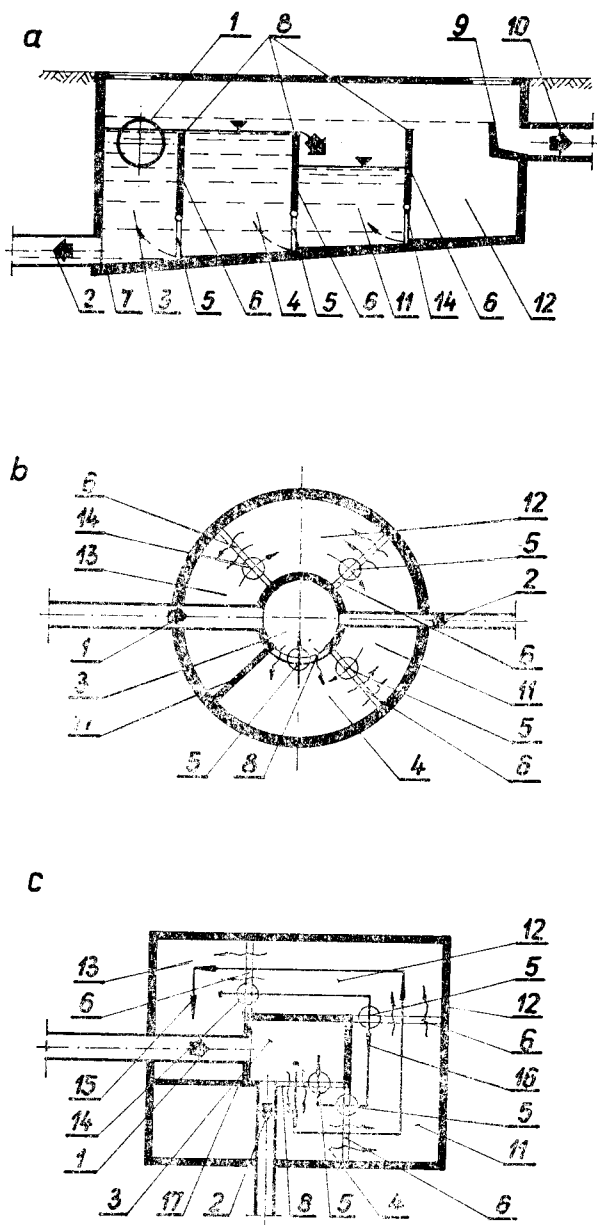
Zasadnicza odrębność tego rozwiązania polega na zastosowaniu dwóch oddzielnych komór akumulujących, oddzielonych przegrodami sta-

łymi od komory przepływowej, usytuowanej w części centralnej zbiornika. Górne krawędzie przegród stałych stanowią przelewy i są usytuowane na różnych poziomach [21]. Ścieki wy-

pełniają kolejno komorę przepływową do poziomu niższej krawędzi przelewowej, a następnie ich nadmiar przelewa się do komory akumulującej A (rys. 2a). Po jej całkowitym wypełnieniu i dalszej przewadze wielkości dopływu nad odpływem, poziom ścieków podnosi się do wysokości przekraczającej położenie górnej krawędzi przegrody wyższej (rys. 2b). Od tej chwili trwa napełnianie komory akumulującej B. Faza napełniania trwa do momentu osiągnięcia maksymalnego poziomu ścieków w



Rys. 1. Schematy układów hydraulicznych oraz charakterystycznych faz napełniania i opróżniania zbiornika konwencjonalnego i zbiornika typu CONTRACT w różnych systemach kanalizacji: a) układ hydrauliczny konwencjonalnego zbiornika retencyjnego, b) faza napełniania zbiornika typu CONTRACT na sieci deszczowej, c) faza opróżniania zbiornika typu CONTRACT na sieci deszczowej, d) poziomy maksymalnego i minimalnego napełnienia zbiornika typu CONTRACT na sieci ogólnospławnej. (1 — kanał dopływowy, 2 — kanał odpływowy, 3 — komora przepływowa, 4 — komora akumulująca, 5 — zawór klapowy, 6 — przegroda stała, 7 — dno zbiornika, 8 — przelew, 9 — przelew awaryjny, 10 — kanał awaryjny).



Rys. 2. Schematy układów hydraulicznych i funkcjonowania zbiornika retencyjnego typu COMPLEX w różnych systemach kanalizacji: a) zbiornik zlokalizowany na sieci deszczowej, b) zbiornik zlokalizowany na sieci ogólnospławnej, c) zbiornik współpracujący z pompownią kanalizacyjną. (1 — kanał dopływowy, 2 — kanał odpływowy, 3 — komora przepływowa, 4 — komora akumulująca A, 5 — zawór klapowy, 6 — przegroda stała, 7 — dno zbiornika, 8 — przelew niższy, 9 — przelew awaryjny, 10 — kanał awaryjny, 11 — komora akumulująca B, 12 — komora czerpalna, 13 — rurociąg ssawny, 14 — przelew wyższy).

całym zbiorniku, który odpowiada rzędnej usytuowania stropu kanału dopływowego [25]. Zróznicowanie usytuowania krawędzi przelewowych powinno być o kilka centymetrów większe od wysokości napelnienia ścieków nad przelewem niższym, określonym podczas maksymalnego dopływu ścieków do zbiornika, aby zabezpieczyć się przed równoczesnym napelnianiem obydwu komór akumulujących.

Faza opróżniania zbiornika rozpoczyna się w momencie, w którym poziom ścieków w komorze przepływowej obniży się o wysokość mierzoną do poziomu ścieków w dowolnej komorze akumulującej, a zapewniającą otwarcie zaworu klapowego.

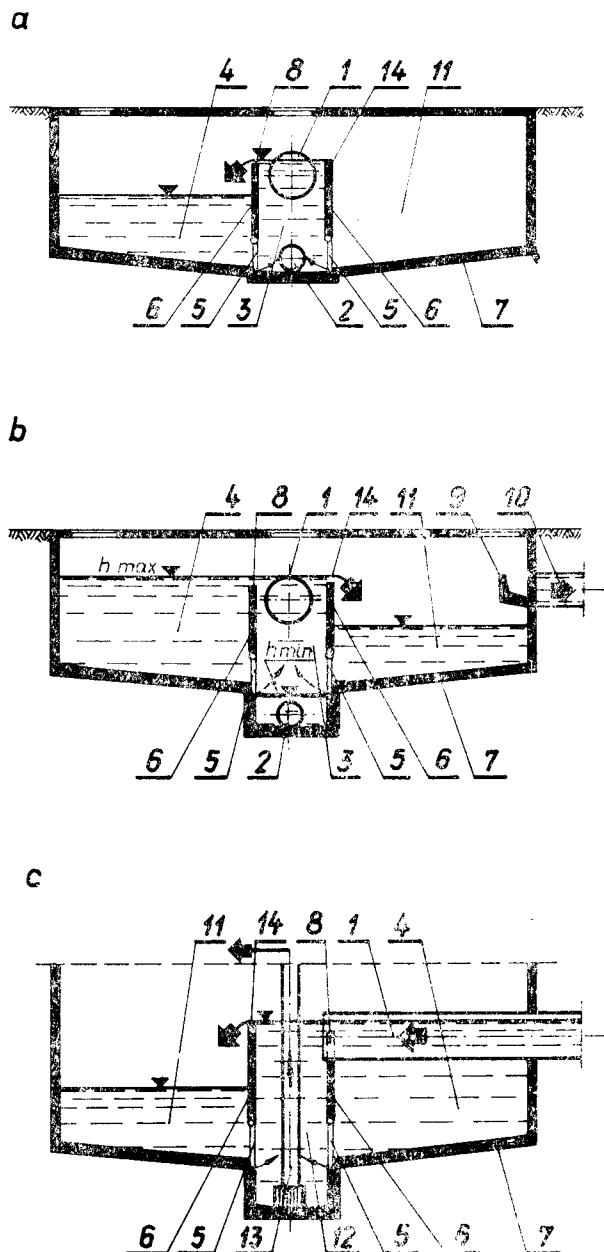
Zbiornik typu COMPLEX można z powodzeniem stosować w pompowniach kanalizacyjnych, szczególnie w systemach kanalizacji ogólnospławnej. Komory akumulujące spełniają rolę zbiornika wyrównawczego, a do komory przepływowej spełniającej rolę komory czepalnej [25, 32] są zapuszczone rurociągi ssawne pomp (rys. 2c) lub pompy zatapialne. W zależności od wielkości pompowni, systemu kanalizacji i ilości oraz zmienności dopływających ścieków, pracuje jedna lub większa liczba pomp. Ścieki pompowane są przez długi okres przy wysokim poziomie, a dopiero ich nadmiar przelewa się do jednej, i po jej wypełnieniu, do drugiej komory wyrównawczej. Podczas opróżniania komór wyrównawczych ścieki przepływają przez zawory klapowe otwierane w sposób samoczynny.

Omawiane rozwiązanie pozwala na znaczne zmniejszenie geometrycznej wysokości podnoszenia pomp i mocy agregatów silnikowo-pompowych. Umożliwia to wymierne obniżenie nakładów inwestycyjnych na budowę pompowni i zmniejszenie ogólnego zapotrzebowania na energię elektryczną o około 20% [25, 33], przeznaczaną do podnoszenia ścieków. Zastosowanie innowacyjnego rozwiązania zapewnia bardziej wyrównany odpływ z pompowni, co ma bardzo istotne znaczenie w przypadku jej lokalizacji przed oczyszczalnią ścieków.

Zbiornik retencyjny typu COMPLEMENT

Istotą rozwiązania jest wydzielenie w układzie szeregowym w przestrzeni akumulującej dwóch lub większej liczby komór akumulujących, oddzielonych przelewowymi przegrodami stałymi. Każda przegroda ma zabudowany w strefie przydennej jednokierunkowy zawór klapowy, otwierany w fazie opróżniania zbiornika. W zależności od kształtu i przebiegu hydrogramu dopływu ścieków do zbiornika, wypełnieniu ulega jedna lub więcej komór akumulujących. Liczba komór akumulujących, ich pojemność, poziomy usytuowania przelewów, położenie i kształt komory przepływowej są uzależnione od wielu czynników, a głównie od podstawowego zadania jakie ma do spełnienia zbiornik [30] w systemie kanalizacji i hydrogramu dopływu.

Wyodrębnienie szeregu komór akumulujących zapewnia korzystną sedymentację zawieszin na



Rys. 3. Schematy układu hydraulicznego i przykładowych rozwiązań wielokomorowego zbiornika retencyjnego typu COMPLEMENT: a) przekrój pionowy podłużny zbiornika w układzie szeregowym, b) widok z góry zbiornika w kształcie szeregowym, c) widok z góry zbiornika w kształcie zespolonego prostokąta. (1 — kanał dopływowy, 2 — kanał odpływowy, 3 — komora przepływowa, 4, 11, 12 i 13 — komory akumulujące, 5 — zawory klapowe, 6 — przegrody stałe, 7 — dno zbiornika, 8 — przelewy sytuowane na różnych poziomach, 9 — przelew awaryjny, 10 — kanał awaryjny, 14 — zawór klapowy z urządzeniem blokującym, 15 — kierunek napelniania zbiornika, 16 — kierunek opróżniania zbiornika, 17 — ścianka szczelna).

ograniczonej powierzchni zbiornika. Nowy układ hydrauliczny umożliwia kilkakrotne wykorzystanie jednej lub dwóch komór akumulujących, sąsiadujących z komorą przepływową w procesie akumulacji ścieków, co umożliwia zmniejszenie wymaganej w innych rozwiązaniach pojemności zbiornika. Zastosowane urządzenia blokujące otwarcie zaworu klapowego umieszczonego w ostatniej przegrodzie komory akumulującej pozwala na zmagazynowanie, po przejściu szczytowych przepływów

ścieków deszczowych, określonej objętości ścieków o niskim ładunku zanieczyszczeń. Zmagazynowane ścieki mogą stanowić źródło zapotrzenia w wodę do celów przeciwpożarowych lub można je wykorzystać do hydraulicznego czyszczenia pozostałych komór zbiornika [21, 26] w okresie minimalnych dopływów ścieków do zbiornika.

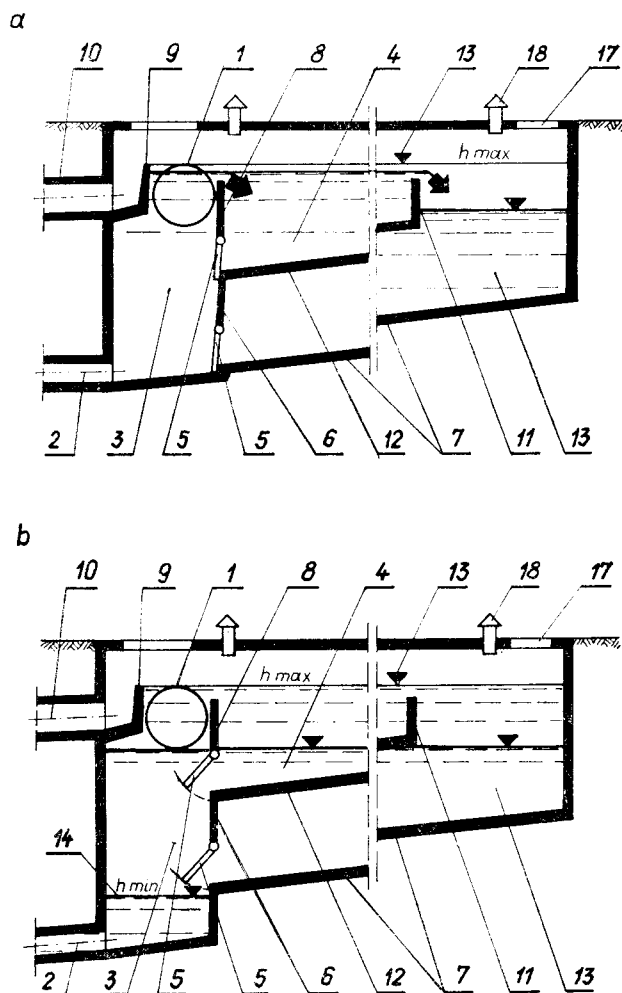
Komory akumulujące mogą być rozmieszczone szeregowo (rys. 3a), w układzie zespolonego zbiornika w kształcie cylindrycznym (rys. 3b) z centralnie usytuowaną komorą przepływową lub w układzie zespolonego prostokąta lub kwadratu (rys. 3c) z wydzieloną wewnątrz komorą przepływową. Kształt, usytuowanie komór i użyty materiał do budowy zbiornika zależą od kubatury zbiornika i przyjętej technologii wykonawstwa.

Zbiornik retencyjny typu WISKARB

Zastosowana innowacja ostatniego z serii prezentowanych rozwiązań sprowadza się do wydzielienia w przestrzeni akumulującej ścieki dwóch lub większej liczby komór akumulujących, których dna są względem siebie położone na różnych poziomach. Typowy zbiornik WISKARB posiada komorę przepływową oraz dwie przylegające do niej komory akumulujące (rys. 4), napełniane przelewowo przez górne krawędzie przegród stałych. Przegrody są wyposażone w strefach przydennych na różnych poziomach w zawory klapowe typu CONTRACT. Występująca w czasie nadwyżka dopływu nad odpływem ścieków w pierwszej kolejności jest przekazywana do górnej komory akumulującej o najwyższym poziomie usytuowania dna. Po jej całkowitym wypełnieniu ścieki poprzez kolejne przelewy wypełniają następne komory o coraz niższych poziomach położenia dna.

Usytuowanie dna komory przepływowej uzależnione jest od hydrogramu dopływu ścieków i czasu trwania założonego cyklu akumulacji w zbiorniku. Występujący w czasie zanik dopływu ścieków do zbiornika umożliwia w tym okresie opróżnienie zbiornika (rys. 4a). Ciągły ale zmienny w czasie dopływ ścieków wymaga obniżenia dna komory przepływowej, w stosunku do dna najniżej położonej komory akumulującej o wysokość zapewniającą całkowite opróżnienie komór akumulujących, w okresie występowania minimalnego przepływu (rys. 4b).

Cykliczne wypełnianie najwyżej położonej komory akumulującej znacznie wydłuża fazę opróżniania zbiornika pod wysokim ciśnieniem hydrostatycznym, zapewniającym ustabilizowany na założonym poziomie odpływ ścieków [27, 31]. Retencjonowanie ścieków charakteryzujących się częstą zmiennością przepływów (szereg lokalnych maksymalnych i minimalnych przepływów) w rozpatrywanym przedziale czasowym, umożliwia wielokrotne napełnianie lub całkowite opróżnianie najwyżej położonej komory akumulującej. Taki układ hydrauliczny wpływa bardzo korzystnie na pełne



Rys. 4. Schematy układów hydraulicznych i charakterystycznych faz napełniania i opróżniania zbiornika retencyjnego typu WISKARB w kanalizacji.

a) faza napełniania zbiornika opróżnianego całkowicie w cyklu akumulacji ścieków, b) faza opróżniania zbiornika opróżnianego do poziomu minimalnego h_{min} w cyklu akumulacji ścieków (1 — kanał dopływowy, 2 — kanał odpływowy, 3 — komora przepływowa, 4 — górna komora akumulująca, 5 — zawory klapowe, 6 — przegroda stała komory dolnej, 7 — dno zbiornika, 8 — przelewową przegroda stała komory górnej, 9 — przelew awaryjny, 10 — kanał awaryjny, 11 — przelewową przegroda stała komory dolnej, 12 — dno komory górnej, 13 — dolna komora akumulująca).

zminimalizowanie potrzebnej pojemności zbiornika w odniesieniu do prezentowanych poprzednio rozwiązań. O zastosowaniu zbiornika typu WISKARB decyduje głównie kształt i przebieg spodziewanego lub wyznaczonego hydrogramu dopływu ścieków dla trafnie określonego czasu akumulacji.

Usytuowanie zbiornika typu WISKARB przed oczyszczalnią ścieków miejskich, a zwłaszcza przemysłowych, zapewnia równomierne obciążenie hydrauliczne urządzeń oczyszczalni i wpływa na zwiększenie efektywności procesów unieszkodliwiania ścieków.

Szczegółowy opis zasad działania, układów hydraulicznych i charakterystycznych faz napełniania i opróżniania poszczególnych zbior-

ników, aspektów techniczno-ekonomicznych uproszczonego sposobu obliczania ich pojemności w zależności od systemu kanalizacji oraz skalę możliwości praktycznych zastosowań przedstawiono w szeregu publikacjach [20—22, 24—28].

Efektywność niekonwencjonalnych rozwiązań

O zastosowaniu zbiornika retencyjnego w systemie usuwania ścieków powinna każdorazowo decydować pełna analiza techniczno-ekonomiczna. Względę funkcjonalne i eksploatacyjne powinny w pierwszej kolejności preferować i wskazywać możliwe do zastosowania rozwiązania. Wyboru optymalnego dla danych warunków rozwiązania należy dokonać wyznaczając obszary efektu ekonomicznego dla wybranych do analizy (w sposób uzasadniony) szeregu typów zbiorników.

Dla wykazania zasadności dokonywania wyboru najefektywniejszego typu zbiornika i uwiarygodnienia możliwych do uzyskania oszczędności z zastosowaniem konwencjonalnego i innowacyjnych rozwiązań dla odciążenia hydraulicznego sieci, przeprowadzono szczegółowe obliczenia hydrauliczne sieci i określono niezbędne pojemności zbiornika konwencjonalnego i zbiorników typu CONTRACT i WISKARB dla zmiennych skokowo współczynników redukcji przepływu β . Dokonano analizy wpływu współczynnika β na efekt ekonomiczny realizowanej inwestycji. Korzystając z obowiązujących cenników wyznaczono obszary efektu ekonomicznego (rys. 5) dla wariantu ze zbiornikiem konwencjonalnym, zbiornikiem typu CONTRACT i ze zbiornikiem typu WISKARB.

Wyznaczony ogólny koszt budowy kolektora tranzytowego wynosi 171 mln zł. Przy zasto-

sowaniu zbiornika konwencjonalnego uzyskano najtańsze rozwiązanie dla $\beta=0,30$ a łączny koszt zbiornika i kolektora o mniejszym przekroju osiąga kwotę 133,5 mln zł. Podobna analiza pozwoliła na wyznaczenie najtańszych rozwiązań przy zastosowaniu zbiorników innowacyjnych. Dla optymalnej wartości $\beta=0,20$ koszt inwestycji ze zbiornikiem CONTRACT wynosi 124 mln zł, zaś dla zbiornika typu WISKARB można zaproponować najtańsze rozwiązanie dla współczynnika $\beta=0,16$, a łączny koszt wyniesie zaledwie 116 mln zł. Porównanie analizowanych wariantów wypada wyraźnie na korzyść rozwiązania ze zbiornikiem typu WISKARB, a łączny efekt z jego zastosowania wynosi 55 mln zł i jest wyższy o 46% w porównaniu z zastosowaniem konwencjonalnego zbiornika, co stanowi ponad 10% całkowitego kosztu inwestycji bez uwzględnienia retencjonowania ścieków. Dodatkowa oszczędność odnoszona kolejno do zbiornika konwencjonalnego wynosi 17,5 mln zł, zaś do zbiornika typu CONTRACT osiąga 8 mln zł.

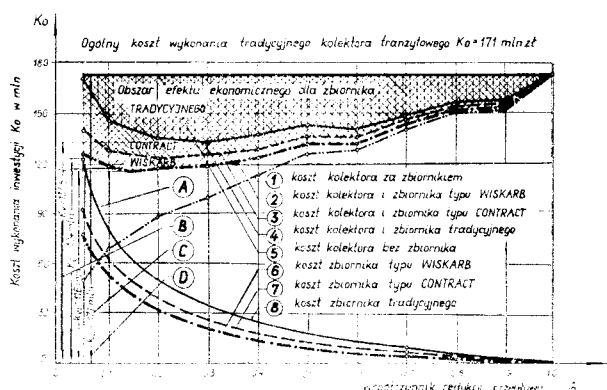
Podsumowanie i proponowane kierunki badań

Wobec dużego opóźnienia w prawidłowym rozwiązywaniu problemów efektywnego retencjonowania ścieków w Polsce, szczególnego znaczenia nabiera problem regulowania spływu ścieków na różnych etapach ich powstawania i transportu. Trafne i kompetentne koncepcje rozbudowy i modernizacji działających systemów kanalizacyjnych, uwzględniające istniejące doświadczenia i aktualne tendencje światowe, a zwłaszcza osiągnięcia techniczne w zakresie efektywnych rozwiązań, pozwolą zaoszczędzić gospodarce narodowej znaczne nakłady finansowe i materiałowe.

Opracowana nowa generacja niekonwencjonalnych zbiorników do retencjonowania ścieków stwarza nieograniczony zakres ekonomicznie uzasadnionych zastosowań i w efekcie poprawę stanu sanitarnego miast i wsi.

Przygotowane procedury obliczeniowe wymiarowania umożliwiają wystarczająco dokładne dla celów projektowych określanie deszczu miarodajnego i niezbędnej pojemności opatentowanych zbiorników retencyjnych. Opracowane podstawy naukowe wymiarowania konwencjonalnych zbiorników stanowią o możliwości określenia wielkości efektów ekonomicznych z zastosowaniem innowacyjnych rozwiązań, które powinny być dodatkową zachętą dla biur projektowych, mając na względzie wysokie nagrody dla projektantów stosujących w uzasadnionych inwestycjach rozwiązania patentowe.

Szczegółowa metodyka obliczania i algorytmy do wymiarowania zbiorników typu CONTRACT, COMPLEX, COMPLEMENT i WISKARB zostaną przedstawione w szeregu publikacjach krajowych i zagranicznych.



Rys. 5. Zależność wielkości efektu ekonomicznego od wartości współczynnika redukcji przepływu β dla zbiornika konwencjonalnego, zbiornika typu CONTRACT i zbiornika dwupoziomowego typu WISKARB. A — koszt inwestycji bez uwzględnienia zbiornika ($K_o=171,0$ mln zł) B — koszt inwestycji ze zbiornikiem konwencjonalnym ($K_k=133,5$ mln zł) C — koszt inwestycji ze zbiornikiem typu CONTRACT ($K_c=124,0$ mln zł) D — koszt inwestycji ze zbiornikiem typu WISKARB ($K_w=116,0$ mln zł).

Dalsze prace powinny zmierzać do opracowania złożonego modelu systemu kanalizacyjnego, uwzględniającego sterowanie przepływem ścieków przy współpracy różnego typu zbiorników i innych obiektów z siecią, przy wykorzystaniu programowania dynamicznego dla optymalizowania ich rozmieszczenia w planie i rezerwowanych pojemności.

LITERATURA

1. R. PECHER: Das Speichervermögen in Mischund Regenwasserkanälen. Wasser und Boden, № 12/1972.
2. B. CH. YEN: Designing Storm Sewers Using the Rational Method. Water and Sewage Works, No 10/1974, No 11/1974.
3. J. DZIOPAK: Model matematyczny zbiornika oddziałającego hydraulicznie kanalizację deszczową. GWTS, Nr 6/1988.
4. B. AFTANAS: Niektóre zagadnienia obliczania wielkości zbiorników retencyjnych w kanalizacjach miejskich. Rozprawa doktorska, Gliwice 1962.
5. M. DESBORDES: Quelques methodes de calcul des bassins de retenue des eaux pluviales. Centre Belge d' Etude et de Documentation des AVRLL, No 377, 1975.
6. G. GÜNZEL: Die Bemessung und Gestaltung vom Rückhaltecken in Mischwasserkanälen der Ortsementwasserung. Wasser und Boden, No 8/1971.
7. J. TABERNACKI: Deszczowe zbiorniki retencyjne w kanalizacji. Nowa Technika w Inżynierii Sanitarnej, Wodociągi i Kanalizacja, zeszyt nr 11, Arkady, Warszawa 1980.
8. P. URČIKÁN: Aplikácia zjednodušeného matematického modelu nahrádných dažďov do výpočtu retenčného priestoru. Vodohospodársky Časopis, 29/1981, Veda, VSA Vied.
9. J. DZIOPAK, A. WIECZYSTY: Wykorzystanie modelowania matematycznego do wymiarowania zbiorników retencyjnych na sieci kanalizacyjnej. Ochrona Środowiska, nr 3—4 (20—21), Wrocław 1984.
10. J. DZIOPAK: Model matematyczny zbiornika retencyjnego kanalizacji deszczowej. Monografia nr 31, Politechnika Krakowska, Kraków 1984.
11. J. DZIOPAK: Akumulacja ścieków deszczowych w kanalizacyjnych zbiornikach retencyjnych. Ochrona Środowiska, nr 1—2 (27—28), Wrocław 1986.
12. J. DZIOPAK: Równania bilansu akumulacji ścieków deszczowych w zbiorniku retencyjnym. GWTS, Nr 10/1987, str. 217—220.
13. J. BANAS, M. MIĘTKA: Charakterystyka zbiorników przetrzymujących falę zanieczyszczeń i zasady ich stosowania w systemie kanalizacyjnym KZM. BPBK Kraków 1981.
14. J. BOCZAR: Obliczanie objętości zbiorników retencyjnych wód deszczowych obciążonych ładunkiem zanieczyszczeń. Gospodarka Wodno-Ściekowa, Biuletyn Branżowy 1969.
15. M. KALINOWSKI: Wpływ kanalizacyjnego zbiornika retencyjnego i przelewów burzowych na charakterystykę ścieków opadowych. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Warszawa 1987.
16. J. DZIOPAK, H. JASIK: Możliwości symulacji retencjonowania ścieków deszczowych w kanalizacyjnym zbiorniku retencyjnym. GWTS, Nr 8/1988.
17. J. DZIOPAK: Algorytmy do wymiarowania sieciowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji. Materiały konferencyjne PZITS, Wrocław 1987.
18. J. DZIOPAK, H. JASIK: Badanie dynamiki zmian stanu napełnienia zbiornika retencyjnego ścieków deszczowych i przebiegu hydrogramu odpływu ze zbiornika. Mat. sem. „Zastosowanie mikrokomputerów w Inżynierii Środowiska”, Łódź 1987.
19. J. DZIOPAK: Analiza numerycznych rozwiązań modelu akumulacji ścieków deszczowych w zbiorniku retencyjnym. GWTS, Nr 9/1988.
20. J. DZIOPAK: Możliwości stosowania i obliczanie kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych typu CONTRACT. Ochrona Środowiska, nr 1—2 (27—28), Wrocław 1986.
21. J. DZIOPAK: Oszczędnościowe typy zbiorników do retencjonowania ścieków w kanalizacji. Materiały Konferencyjne PZITS, Łódź 1986.
22. J. DZIOPAK: Kanalizacyjne zbiorniki retencyjne w infrastrukturze podziemnej miast. Prace Naukowe IIL Politechniki Wrocławskiej, Nr 31/1985, Wrocław.
23. J. DZIOPAK: Efektywne urządzenia rezerwuarów dla regulowania stoku w kanalizacyjnych systemach. Sympozjum Naukowe — DNI NAUKI I TECHNIKI POLSKIEJ, Sofia, czerwiec 1988, Bułgaria.
24. J. DZIOPAK: Réservoir d'accumulation du type CONTRACT. Engineering Polonaise, nr 1/109/1985.
25. J. DZIOPAK: Multifunctional RETURN pumping stations for sewerage systems. Polish Technical Review, nr 5/173/1987.
26. J. DZIOPAK: Mehrkammer - Retentionsbehälter Typ CAMPLEMENT in der Kanalisation. Polnisches Engineering, nr 1/123/1988.
27. J. DZIOPAK: Réservoir de retenue à plusieurs niveaux WISKARB dans les réseaux d'égouts. Technique Polonaise, nr 1/175/1988.
28. J. DZIOPAK: Nowa konstrukcja kanalizacyjnego zbiornika retencyjnego typu CONTRACT. Ochrona Środowiska, nr 3—4 (20—21), Wrocław 1984.
29. J. DZIOPAK: Mischwasserentlastungsbauwerk vom Typ CONTRACT Technik in Polen, nr 4/162/1985.
30. J. DZIOPAK: Wielokomorowy zbiornik retencyjny typu COMPLEMENT. Ochrona Środowiska, nr 1—2 (27—28), Wrocław 1986.
31. J. DZIOPAK: Dwupoziomowy zbiornik typu WISKARB do regulowania spływu ścieków w kanalizacji. Ochrona Środowiska, nr 3—4 (36—37), Wrocław 1988.
32. J. DZIOPAK: Wielofunkcyjne przepompownie kanalizacyjne typu RETURN. Ochrona Środowiska, nr 1—2 (27—28), Wrocław 1986.
33. J. DZIOPAK: RETURN type centralized sewage pumping stations. Polish Engineering, nr 5—6/122/1987.

EFFICIENT RETENTION OF SEWAGE IN THE SEWER SYSTEM

Some of the patent-claimed sewage retention systems developed earlier (reservoirs of CONTRACT, COMPLEX, COMPLEMENT and WISKARB type) are applicable to a multitude of economic uses. The hydraulic system, as well as their original design, make this generation of reservoirs work efficiently as part of a modern sewer system. The new hydraulic approach ("inflow-accumulation-outflow") enables an efficient utilization of the retention volumes of the re-

servoirs. Thus, the application of the COMPLEX reservoir in the pumping stations of sewer systems reduces the required reserve volume even by 35%, decreases power demand and enables a stable outflow. Owing to the various hydraulic systems, the generation of reservoirs can be used as part of water supply or sewer systems. The choice of an appropriate reservoir type should be based on the cost-benefit criterion. For example, using the WISKARB reservoir as part of the sewer system makes the total investment cost decrease by over 10% as compared to the CONTRACT reservoir.