

Jerzy Wartalski

WSPÓŁCZESNE METODY PROJEKTOWANIA KANALIZACJI

Systemy odprowadzania i unieszkodliwiania ścieków stanowią jeden z podstawowych elementów infrastruktury komunalnej, zapewniających ochronę środowiska oraz higienę życia ludności miast i wsi. Postępująca obecnie urbanizacja wymaga zaangażowania dużych nakładów finansowych na budowę i eksploatację systemów kanalizacyjnych. Ponieważ znaczną część tych nakładów stanowią środki przeznaczone na budowę sieci kanalizacyjnej (75—90% kosztów budowy systemu), dlatego też należy dążyć do spełnienia dwóch ogólnych warunków:

- aby zapewnić skuteczną ochronę środowiska i higienę życia ludności, sieć kanalizacyjna powinna niezawodnie spełniać swoje zadanie, tzn. należy dążyć do poznania obiektywnych zjawisk dopływu ścieków do sieci kanalizacyjnej oraz zjawisk zachodzących w kanałach i obiektach sieciowych i na tej podstawie projektować te elementy sieci,
- ze względu na duże dysproporcje między potrzebami a dysponowanymi środkami na ich zaspokojenie, zachodzi konieczność optymalnego projektowania sieci kanalizacyjnej i obiektów jej towarzyszących.

W dalszej części zostaną przedstawione podstawowe zagadnienia, których rozwiązanie pozwala zrealizować powyższe warunki.

Odptyw ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych

Miarodajne do wymiarowania sieci i obiektów kanalizacyjnych są obecnie odpływy maksymalne godzinowe (tzn. odpływy w takiej godzinie wybranej w roku, w której odpływ ten jest maksymalny). Obliczeniowe natężenie przepływu w dowolnym punkcie sieci jest ustalane jako suma maksymalnych godzinowych odpływów ścieków od użytkowników zlokalizowanych powyżej tego punktu sieci. Takie podejście powoduje przewymiarowanie elementów systemu, co jest szczególnie istotne w przypadku rozległych sieci kanalizacyjnych. Stwierdzono już, że maksymalny godzinowy odpływ ścieków jest szczególnym przypadkiem pewnego podejścia ogólnego, polegającego na wyborze czasu trwania odpływu maksymalnego oraz prawdopodobieństwa jego wystąpienia. Dla sieci kanalizacyjnych obsługujących niewielką liczbę mieszkańców, czas trwania odpływu maksymalnego powinien być krótszy niż jedna godzina, natomiast dla sieci obsługujących całe

dzielnice i miasta (kanalizacja grupowa), dłuższy niż jedna godzina. Przy wymiarowaniu kanałów na maksymalny odpływ o określonym czasie trwania należy dopuścić do większego wypełnienia kanałów, a nawet ich podtopienia ze względu na krótki czas trwania tego przepływu w stosunku do całkowitego czasu działania kanalizacji. Rozwiązania powinien także doczekać się problem wyboru prawdopodobieństwa wystąpienia odpływu ścieków o określonym czasie trwania (podobnie jak w kanalizacji prowadzącej ścieki deszczowe prawdopodobieństwo wystąpienia deszczu o określonym czasie trwania). Wybór ten zależy od czynników ekonomicznych i wymaganej niezawodności działania kanalizacji. Uwzględnienia wymaga również czas przepływu ścieków w sieci kanałów, wpływający na wybór czasu trwania odpływu maksymalnego oraz na mijanie się szczytów fali ścieków przepływających od użytkowników kanalizacji, zlokalizowanych w różnych odległościach od rozpatrywanego punktu sieci. Nie uwzględniany obecnie jest również wpływ retencji sieci i obiektów sieciowych na zmniejszenie wartości maksymalnej natężenia przepływu ścieków i na zjawisko „rozpyływania się fali ścieków”.

Odptyw ścieków deszczowych

Stosowana obecnie metoda granicznych natężeń do określania natężenia przepływu ścieków ma szereg wad, co spowodowało, że zrezygnowano z niej w wielu krajach. W Polsce jest ona powszechnie stosowana, choć wprowadzono już do niej szereg modyfikacji. Przede wszystkim zastąpiono już w wielu przypadkach stosowany wcześniej dla całej Polski „wzór Błaszczyka” formułami opracowanymi dla konkretnych miejscowości bądź niewielkich regionów. Formuły te są o wiele bliższe rzeczywistości niż formuła ogólna. Do dziś rozwiązania nie doczekał się wpływ zasięgu deszczu na jego intensywność i sposób jego uwzględniania przy określaniu natężenia przepływu ścieków deszczowych. Wpływ ten jest bardzo ważny dla dużych zlewni deszczowych i krótkotrwałych deszczów nawalnych (a te właśnie deszcze decydują o wymiarach kanałów i wielu obiektów sieciowych). Należy zaznaczyć, że formuły opisujące zależność intensywności deszczu od czasu jego trwania powinny mieć wyraźnie określony obszar stosowności, którego przekroczenie daje wyniki rażąco odbiegające od rzeczywistości. Stosowane w kraju formuły, zarówno ogólne jak i szczegółowe, opisują średnią intensywność deszczu w czasie jego trwania. Stosowanie tych formuł w metodzie granicz-

nych natężeń sprowadza się do przyjmowania tej intensywności deszczu jako stałej podczas całego czasu trwania deszczu. Tak więc wymiarowanie kanałów w różnych punktach sieci odbywa się na podstawie różnych deszczów, o stałej dla nich intensywności w czasie.

Zarówno za granicą jak i w kraju opracowano metody tworzenia wzorcowych modeli deszczów, uwzględniających zmienną intensywność deszczu w czasie. Najbliższym krokiem będzie opracowanie krajowej bądź adaptacja zagranicznej metody określania natężenia przepływu ścieków, uwzględniającej te wzorcowe modele deszczu. Na opracowanie czeka model deszczu, uwzględniający nie tylko zmianę intensywności deszczu w czasie, lecz również zmienną intensywność w przestrzeni, zależną od odległości od epicentrum deszczu.

Wiele do życzenia pozostawia obecny, bardzo uproszczony sposób określania współczynnika spływu powierzchniowego. Panuje powszechna opinia, że wartość tego współczynnika jest systematycznie zawyżana. Zbyt uproszczona jest również metoda określania czasu koncentracji terenowej. Problem spływu ścieków deszczowych po powierzchni zlewni, do sieci ulicznej jest bardzo złożony i ściśle związany ze współczynnikiem spływu i retencją wpustów i przykanalików (dlatego w badaniach trudno jest zająć się wysublimowanym problemem czasu koncentracji terenowej). Wydaje się jednak, że czas koncentracji terenowej powinien być określany dla większej liczby różnych (typowych) przypadków ukształtowania zlewni (pionowego i w planie) oraz różnych (typowych) sposobów zagospodarowania i pokrycia zlewni. Niedoceniane jest również znaczenie retencji sieci i obiektów kanalizacji deszczowej. Zdecydowanie niekorzystne było przyjmowanie czasu retencji kanałowej, tj. czasu potrzebnego na wypełnienie sieci kanałów do wysokości odpowiadającej obliczeniowemu natężeniu przepływu, jako 20% czasu przepływu ścieków. Wielkość tę zwiększono w zmodyfikowanej metodzie granicznych natężeń, opracowanej przez IKŚ i zalecanej do stosowania przez projektantów kanalizacji odprowadzającej ścieki deszczowe. Podana tam formuła określania czasu retencji kanałowej, choć stanowi postęp w tym kierunku, jest jednak niedoskonała i budzi m. in. takie zastrzeżenia:

- pozostawiono tam w dalszym ciągu fragment czasu retencji kanałowej w wysokości 20% czasu przepływu, który nie ma uzasadnienia,
- połączono retencję terenową z retencją kanałów bocznych,
- nie sprecyzowano pojęcia kanałów bocznych; w przypadku połączenia dwóch równorzędnych kanałów, jeden musi być kolektorem, a drugi kanałem bocznym i stąd ich retencje obliczane są różnymi sposobami, mimo ich jednakowej rangi,
- obliczanie czasu retencji kanałowej kanałów bocznych i terenu dokonuje się poprzez podzielenie objętości zagłębień terenu i kanałów bocznych, zdolnej do retencjo-

nowania ścieków deszczowych przez obliczeniowe natężenie przepływu ścieków w odcinku kolektora, choć natężenie przepływu ścieków po terenie i w kanałach bocznych jest zupełnie różne,

— dla całej sieci i terenu powyżej przekroju obliczeniowego stosuje się jeden wspólny współczynnik wykorzystania pojemności retencyjnej,

— autorzy modyfikacji podali duże rozpiętości wartości i tylko bardzo ogólne zasady określania, zarówno współczynnika wykorzystania pojemności retencyjnej (0,1—1), jak i współczynnika retencji terenu i kanałów bocznych (10—80); ustalenie wartości tych współczynników zbliżonych do rzeczywistości jest bardzo trudne.

Hydraulika sieci kanalizacyjnej i obiektów sieciowych

Do obecnej chwili nie rozwiązano zagadnienia zasięgu cofki oraz kształtu zwierciadła ścieków w kanałach, w przypadku spiętrzenia ścieków. Stopniowo wprowadzany jest w obliczeniach hydraulicznych sieci kanałów ruch wolno-zmienny, który rzeczywiście ma miejsce w kanałach, zamiast dotychczasowego ruchu ustalonego, co jest dużym uproszczeniem zjawisk hydraulicznych w kanałach. Na ruchu wolno-zmiennym bazują modele symulacyjne kanalizacji, które umożliwiają poznanie przebiegu zjawisk zachodzących w każdym punkcie sieci kanalizacyjnej o znanych parametrach technicznych (m.in. natężenia i prędkości przepływu ścieków, wypełnienia kanału), spowodowanych symulowanym czynnikiem zewnętrznym np. deszczem o zmiennym w czasie i przestrzeni natężeniu lub zmiennym w czasie punktowym bądź ciągłym zrzutem ścieków.

Syfony kanalizacyjne

Zostały opracowane w ostatnich latach nowoczesne rozwiązania wieloprzewodowych syfonów kanalizacyjnych oraz metody ich projektowania.

Rozwiązania techniczne dotyczą przede wszystkim tzw. głowicy górnej (wlotowej) syfonu. Preferowane są dwa warianty:

- rozmieszczenie wlotu do przewodów syfonowych na różnych wysokościach tak, aby wraz ze wzrostem dopływu ścieków do syfonu włączały się do pracy kolejne przewody,
- wykonanie głowicy górnej w formie wielokomorowej, przy czym z każdej komory jest wyprowadzany jeden przewód syfonowy, a komory oddzielone są od siebie przelewami; w miarę wzrostu dopływu ścieków działają kolejne przelewy, powodując włączenie się do pracy następnych komór wraz z przewodami syfonowymi.

Powyższe rozwiązania dają w efekcie działanie różnej liczby przewodów syfonowych w zależności od natężenia dopływu ścieków, a co za tym idzie umożliwiają utrzymanie zalecanej prędkości przepływu ścieków. Dla obu wariantów

tów rozwiązań opracowano metody obliczeniowe, oparte na zasadach współpracy hydraulicznej równoległych przewodów ciśnieniowych.

Przelewy burzowe i separatory ścieków

Propagowane są ostatnio przelewy burzowe (oraz działające na podobnej zasadzie separatory ścieków kanalizacji półrozdzielczej) z urządzeniami dławiącymi odpływ w kierunku oczyszczalni ścieków. Takie rozwiązania posiadają szereg zalet:

- dławienie odpływu ścieków w kierunku oczyszczalni powoduje podniesienie krawędzi przelewowej w stosunku do rozwiązań tradycyjnych oraz spiętrzenie ścieków w komorze przelewu i w kanale doprowadzającym, co powoduje pełniejsze wykorzystanie zdolności retencyjnej sieci kanałów i w efekcie daje zmniejszenie objętości ścieków zrzuconych przez przelew do odbiornika, a więc jego lepszą ochronę,

- dławienie odpływu daje zwiększenie wysokości warstwy przelewowej ścieków, co powoduje wydajne skrócenie długości krawędzi przelewowej, a więc zmniejszenie kosztów budowy przelewu,

- zastosowanie urządzenia dławiącego odpływ ścieków w kierunku oczyszczalni umożliwia ograniczenie wahań natężenia odpływających tam ścieków, a więc poprawienie warunków pracy oczyszczalni ścieków poprzez niedopuszczenie do jej przeciążenia,

- zastosowanie odpowiedniego rozwiązania konstrukcyjnego urządzenia dławiącego, umożliwia zmianę parametrów pracy przelewu bez konieczności jego przebudowy; szczególne znaczenie ma możliwość zmiany z biegiem lat, rozdziału ścieków w przelewie np. w miarę rozbudowy sieci kanalizacyjnej powyżej przelewu, zmiany sposobu zagospodarowania zlewni ścieków, rozbudowy oczyszczalni itp.

Opracowane już zostały metody obliczania hydraulicznego tego typu przelewów, uwzględniające określenie wysokości spiętrzeń w komorze przelewowej, wysokości położenia krawędzi przelewowej oraz obliczenie parametrów technicznych urządzenia dławiącego. Zostały również już zakończone badania laboratoryjne tego typu przelewów, mające na celu prześledzenie zjawisk zachodzących w komorze z bocznym przelewem, w przypadku zakłócenia swobodnego przepływu ścieków przez komorę w kierunku oczyszczalni oraz opracowanie na tej podstawie formuł do określania wydatku przelewu (korzystano do tej pory z klasycznych formuł, odnoszących się do bocznych przelewów z niedławionym odpływem) i kształtu zwierciadła ścieków w komorze. Wyniki tych badań mogą być z powodzeniem stosowane w modelach symulacyjnych sieci kanalizacyjnych. Opracowania wymagają metody hydraulicznych obliczeń różnych typów separatorów ścieków (z wyjątkiem separatorów o konstrukcji identycznej z konstrukcją przelewów burzowych) np. separatorów z rynną usytuowaną poprzecznie do strumienia płynących ścieków, separatorów z poprzeczną przegrodą piętrzącą czy se-

paratorów kaskadowych. Określić tu należy rozdział ścieków w separatorze, w zależności od parametrów konstrukcyjnych oraz ukształtowanie strumienia (zwierciadła) ścieków. Brak tych podstaw stanowi przeszkodę w opracowaniu metody (algorytmu, programów komputerowych) projektowania kanalizacji systemu półrozdzielczego.

Zbiorniki retencyjne i osadniki

Zbiorniki i osadniki, choć rzadko jeszcze w Polsce stosowane, stanowią nieodłączne elementy systemów usuwania ścieków, decydujące o ekonomiczności tych systemów i ochronie wód odbiorników ścieków. Szczególnie duże znaczenie mają zbiorniki i osadniki retencyjne lokalizowane na sieciach deszczowych systemu rozdzielczego i półrozdzielczego, a także na sieciach ogólnospławnych. Stosowane do chwili obecnej uproszczone metody obliczania koniecznej objętości użytecznej zbiorników retencyjnych, jako metody statyczne, nie opisują przebiegu dynamicznego procesu akumulacji ścieków w zbiorniku, a tylko dokładne poznanie tego procesu pozwala przeanalizować działanie zbiornika retencyjnego o określonych parametrach technicznych, podczas opadów deszczowych o różnym charakterze. Tylko na podstawie badań procesu akumulacji można zaprojektować właściwą objętość użytkową zbiornika dla określonego prawdopodobieństwa jego przepełnienia się. Ostatnio opracowano modele matematyczne opisujące to zjawisko i doskonale nadające się do symulacji działania kanalizacji podczas opadu deszczowego. We wspomnianej wcześniej modyfikacji metody granicznych natężeń, określania obliczeniowego natężenia przepływu ścieków deszczowych uwzględniono również wpływ objętości zbiornika retencyjnego na zmniejszenie natężenia przepływu na odcinkach kanału poniżej zbiornika.

Następnym, również decydującym czynnikiem, wpływającym na objętość zbiornika jest natężenie odpływu ścieków ze zbiornika. Ponieważ w rozwiązaniach tradycyjnych wpływ ścieków ze zbiornika zależy od jego wypełnienia, więc jest on zmienny w czasie. Tylko podczas maksymalnego wypełnienia zbiornika wpływ ścieków jest największy (równy obliczeniowemu), a kanał odpływowy w pełni wykorzystany.

Przy takim działaniu zbiornika jego objętość musi być dużo większa, niż gdyby wpływ ze zbiornika był stabilny w czasie i równy przepływowi maksymalnemu (obliczeniowemu). Konstrukcją zbliżoną do takiego rozwiązania idealnego jest zbiornik typu CONTRACT.

Opracowania wymagają również konstrukcje i zasady obliczeń zbiorników awaryjnych na sieciach ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych tzn. zbiorników, napełniających się w przypadku awarii elementów systemu usuwania ścieków. Rozwiązania konstrukcyjne zbiorników awaryjnych powinny być dostosowane do współpracy z przelewem awaryjnym na sieci o wysoko umieszczonej krawędzi (umożliwia to wykorzystanie w pierwszej fazie po awarii zdolności retencyjnej sieci, a dopiero

później — w drugiej fazie, napełnianie zbiornika).

Projektowanie osadników retencyjnych dla ścieków deszczowych napotyka na kłopoty związane z brakiem jednoznacznie sformułowanych zasad projektowania tych obiektów. Związane to jest przede wszystkim z dużą różnorodnością zanieczyszczeń zawartych w ściekach deszczowych, co potwierdziły badania terenowe prowadzone w różnych punktach kraju w ostatnich kilkunastu latach. Ponieważ osadniki retencyjne pełnią zarówno funkcję zbiornika retencyjnego jak i osadnika podczyszczającego ścieki deszczowe, więc przy projektowaniu tych obiektów stosuje się równocześnie metody projektowania zbiorników retencyjnych jak i osadników ścieków, a wymiary przyjmuje się na podstawie jednej z metod (tej, która wymaga większej objętości), mając wówczas pewność, że obiekt będzie spełniał obie funkcje.

Płukanie sieci kanalizacyjnej

Od wielu lat prowadzone są, szczególnie za granicą, badania terenowe i laboratoryjne nad odkładaniem się i transportem osadów w kanałach. Wyniki tych badań dały podstawy do określania zasad czyszczenia i płukania kanałów. Szczegółowego opracowania wymagają wytyczne dotyczące częstości płukania kanałów oraz efektywnego zasięgu fali płuczącej z uwzględnieniem: sposobu płukania, rozwiązania oraz parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych płuczki kanałowej, wymiarów płukanych kanałów, załamań trasy kanałów, obiektów (przede wszystkim studzienek rewizyjnych i połączeniowych), zakłócających przebieg fali płuczącej i zmniejszających jej efekt. Podkreślić należy pojawienie się w ostatnich latach, szczególnie za granicą, wielu nowych metod i urządzeń (głównie niestacjonarnych) do czyszczenia i płukania kanałów, mogących mieć zastosowanie w warunkach krajowych.

Przepompownie ścieków

Główny nacisk we współczesnych konstrukcjach przepompowni ścieków kładzie się na automatyzację i wyeliminowanie stałej obsługi, ze względu na uciążliwe warunki pracy. Sprzyja temu celowi stosowanie zatapialnych pomp do ścieków. Pompownie wyposażone w pompy tego typu nie wymagają również wydzielonych, suchych pomieszczeń do zainstalowania pomp, stosowania krat bądź rozdzielniarek zabezpieczających pompy oraz innych pomieszczeń i wyposażenia niezbędnego w pompowniach tradycyjnych. Coraz więcej firm na świecie posiada już w asortymencie produkowanych przez siebie pomp, zatapialne pompy do ścieków. Coraz częściej stosuje się również pompownie pneumatyczne oraz transport ścieków na zasadach podciśnienia, szczególnie w systemach obsługujących niewielkie zlewnie.

W ostatnich latach opracowano wiele modeli symulujących działanie przepompowni, pracujących w poszczególnych systemach kanalizacji, charakteryzujących się różnym przebie-

giem dopływu ścieków do zbiorników czerpalnych pomp. Modele te, uwzględniające zarówno ciągle jak i stopniowe (skokowe) sterowanie pracą zespołów pompowych są przedmiotem wielu opracowań.

Niezawodność działania i sterowanie systemem usuwania ścieków

Na niezawodność działania systemu wpływ ma niezawodność działania jego elementów składowych. Tylko w stosunku do nielicznych obiektów kanalizacyjnych (np. pompowni) opracowano zasady określania niezawodności ich działania, na bazie ogólnej teorii niezawodności. Obecnie trwają prace nad sformułowaniem tych zasad dla pozostałych obiektów oraz systemu usuwania ścieków jako całości i ich zastosowaniem w praktyce. Dopiero wówczas można będzie świadomie stosować, już na etapie projektowania, ekonomiczne zabezpieczenia przed nieprawidłową pracą systemu, a szczególnie jego najbardziej zawodnych elementów. Z niezawodnością działania wiąże się również zagadnienie sterowania pracą systemu. Możliwość prawidłowego (optymalnego) sterowania działaniem systemu ma wpływ nie tylko na niezawodność jego działania, lecz umożliwia również stosowanie w projekcie rozwiązań ekonomiczniejszych, dających jednak żądane parametry pracy systemu i pewność jego działania. Niestety, brak jest krajowych opracowań na temat sterowania pracą systemów sieciowych usuwania ścieków.

Optymalne projektowanie systemów usuwania ścieków i ich elementów

Przy projektowaniu systemów usuwania ścieków pojawiają się dwa rodzaje zadań optymalizacyjnych:

- wybór rozwiązania najlepszego spośród rozwiązań możliwych do zastosowania w danych warunkach, a jednakowo dobrze spełniających swoją rolę,
- określenie najlepszych parametrów (spełniających jednak określone wymagania), wybranego uprzednio rozwiązania optymalnego.

Kryteria optymalizacji są często niełatwe do ustalenia. Najczęściej decydującym kryterium będą najmniejsze koszty budowy lub najmniejsza wartość syntetycznego wskaźnika ekonomicznej efektywności inwestycji. Inne kryteria, które mogą być podstawą optymalizacji to: najmniejsze zużycie materiałów, najmniejsze zaangażowanie pracy ludzkiej bądź sprzętu, minimalizacja robót ziemnych, najmniejsza energochłonność itp. Najlepszym kryterium byłoby maksimum korzyści społecznych odniesionych z budowy systemu, lecz brak jest jak dotąd wspólnej miary różnych przejawów tych korzyści. Należy jednak w tym miejscu zaznaczyć, że bardzo często optymalizacja bazuje na niepełnej bądź zafałszowanej funkcji celu. Często dzieje się tak na skutek nieprawidłowych relacji ekonomicznych np. заниżonych bądź za-

wyżonych opłat za korzystanie z kanalizacji, nieponoszenia skutków nieprawidłowego działania systemu przez jego właściciela (brak funkcji kar), nieprzewodzenie remontów bieżących, co powoduje skrócenie okresu użytkowania inwestycji itp.

Rozwój teorii metod optymalizacyjnych dotyczących systemów usuwania ścieków i ich elementów, wiąże się ściśle z postępem w dziedzinie elektronicznych technik obliczeniowych. Podstawowym problemem w tej dziedzinie jest wybór optymalnego rodzaju systemu odprowadzania ścieków. Zagadnienie to nie zostało do dzisiaj metodycznie rozwiązane, przede wszystkim ze względu na brak jednego, ściśle sprecyzowanego kryterium optymalizacji oraz z uwagi na mnogość zmiennych, podlegających ustalaniu w procesie optymalizacji — tzw. zmiennych decyzyjnych. Obecnie wyboru rodzaju systemu usuwania ścieków dokonuje się w drodze porównania, co najwyżej kilku wariantów różnych rodzajów systemu i wyboru wariantu najlepszego, ze względu na określone kryterium, biorąc często pod uwagę również inne przesłanki np. możliwość etapowania inwestycji, zachowanie „czystości” systemu w przypadku jego rozbudowy, ochronę wód odbiornika itp.

W rozważaniach dotyczących wyboru rodzaju systemu dla niewielkich zlewni kanalizacyjnych należy koniecznie brać pod uwagę niekonwencjonalne, nowoczesne systemy usuwania ścieków: kanalizację ciśnieniową i kanalizację podciśnieniową. Mamy już od kilku lat krajowe opracowania zasad i metod projektowania tych systemów. Również w kilku miejscowościach kraju wykonano systemy tego rodzaju, które działają z powodzeniem. O ile nie opracowano jeszcze metod wyboru optymalnego rodzaju systemu usuwania ścieków, to dla określonego rodzaju systemu istnieje już wiele metod optymalizacji parametrów takiego systemu, opracowanych zarówno w kraju jak i za granicą. Niektóre metody dotyczą tylko grawitacyjnych sieci kanalizacyjnych bez obiektów specjalnych, inne zaś uwzględniają również obiekty sieciowe.

Optymalizacja grawitacyjnych sieci kanalizacyjnych polega na określeniu optymalnych wartości przekrojów i średnic wszystkich odcinków sieci, dla przyjętego kryterium. Przy rozwiązywaniu tego zagadnienia stosowano wiele metod optymalizacyjnych m.in. metody przeglądu zupełnego z różnymi modyfikacjami, metody programowania liniowego, programowania dynamicznego, metody gradientów sprzężonych. Najlepsze efekty dają metody programowania dynamicznego, mające też największą zwolenników. Metody te posiadają wiele odmian, w zależności od struktury funkcji celu, postaci warunków ograniczających rozwiązania optymalne oraz podejścia autorów tych metod. Idea programowania dynamicznego, sformułowana dość dawno, doczekała się jednak praktycznej realizacji dopiero przy użyciu pojemnych i szybkich komputerów, gdyż na ogół rozwiązanie optymalne uzyskuje się na drodze

złudnych obliczeń iteracyjnych. Pomimo, że wielu autorów wyprowadziło formuły teoretyczne zastępujące całe sekwencje działań matematycznych i logicznych, to jednak często pewne wielkości wejściowe można określić dopiero na podstawie oszacowania wielkości wyjściowych, co prowadzi do iteracyjnych procesów obliczeniowych. Niektóre problemy w metodach programowania dynamicznego nie dadzą się opracować w postaci formuł teoretycznych, dlatego stosuje się tam również metody numeryczne (iteracyjne) np. w zagadnieniu określania granic przedziału dopuszczalnych rozwiązań. Decydujący wpływ na rozwiązanie optymalne mają ograniczenia. Dla pewnych przypadków ograniczenia te mogą być sprzeczne ze sobą i tutaj różni autorzy proponują różną hierarchię ważności ograniczeń. Wydaje się, że najmniejsze znaczenie powinny mieć ograniczenia natury formalnej. Analiza wyników optymalizacji wykazała, że bardzo często otrzymane rozwiązania optymalne nie są obiektywne najlepsze ze względu na ograniczenia, czasami nie mające racjonalnych uzasadnień, np. konieczność stosowania średnic minimalnych dopuszczalnych w danym systemie, pomimo że wystarczyłyby dużo mniejsze, konieczność trzymania się zasady niezmnieszenia średnic kanałów w kierunku przepływu ścieków, zbyt duże skoki między sąsiednimi typowymi wymiarami przekrojów kanałów. W kilku przypadkach okazało się, że rozwiązania optymalne są gorsze niż tradycyjne (bez uwzględnienia zasad optymalizacji). Wnikliwa analiza wykazała jednak, że w rozwiązaniach tradycyjnych projektanci skłonni są do stosowania większych przekrojów kanałów niż w rozwiązaniach optymalnych, ale za to z mniejszymi spadkami. Ponieważ koszty robót ziemnych w warunkach polskich są większe niż koszty rur kanalizacyjnych, rozwiązania tradycyjne okazują się rzeczywiście płytsze i tańsze od optymalnych. Oba rozwiązania nie są jednak porównywalne, gdyż w rozwiązaniu tradycyjnym nie są wówczas zapewnione prędkości samooczyszczania. Jest to możliwe, ponieważ spadek minimalny kanału, zgodnie z zaleceniami, nie zależy od natężenia przepływu ścieków, a jedynie od wymiaru przekroju. Należy więc bardzo ostrożnie podchodzić do oceny różnych rozwiązań, a przed wszystkim zawsze sprawdzić czy one porównywalne. Oszczędności na kosztach budowy (takie kryterium było dotychczas stosowane) wynikłe ze stosowania przy projektowaniu metod optymalizacyjnych, dochodzą nawet do 15—20% kosztów budowy rozwiązania tradycyjnego. Często większe efekty niż optymalizacja przekrojów i spadków kanałów na sieciach deszczowych i ogólnospławnych przynieść może zastosowanie nowoczesnych konstrukcji, umożliwiających pełniejsze wykorzystanie zdolności retencyjnych sieci np. przelewów (separatorów) z urządzeniami dławiącymi, zbiorników typu CONTRACT i innych. Metody optymalizacji opracowane dla grawitacyjnych sieci kanalizacyjnych bez obiektów specjalnych wpływających na profil sieci kanałów,

mają ograniczone zastosowanie, gdyż nawet jeśli tradycyjne rozwiązania projektowe nie przewidują takich obiektów, to optymalne mogą być rozwiązania z udziałem tych obiektów. W przypadku strefowania sieci kanalizacyjnej przepompowniami ścieków rozwiązać należy kilka problemów optymalizacyjnych. Podstawowym jest optymalne rozwiązanie strefowych przepompowni ścieków. Już przed wieloma laty poczyniono pierwsze próby opracowania metody optymalizacji rozstawu pompowni ścieków na kolektorze kanalizacyjnym usuwającym ścieki z terenu o zabudowie pasmowej wzdłuż rzeki, w którym stosowanie pompowni jest konieczne. Z zagadnieniem optymalnego rozstawu pompowni wiązał się tutaj problem optymalnego rozstawu oczyszczalni ścieków. Od tego czasu powstało wiele metod nie tylko optymalizacji samego rozmieszczenia przepompowni ścieków, ale również optymalizacji przekrojów i spadków kanałów, łącznie z optymalizacją rozmieszczenia pompowni. Również tutaj najefektywniejsze metody bazują na idei programowania dynamicznego. Obliczenia praktyczne z użyciem powyższych metod wykazały, że projektowane w Polsce bardzo drogie w budowie i eksploatacji rozwiązania pompowni ścieków decydują o tym, że kanały odprowadzające ścieki do pompowni powinny mieć duże przekroje i małe spadki. Taki projekt płytkiej sieci kanalizacyjnej usuwa „groźbę” stosowania drogiej przepompowni. W tych warunkach okazuje się również, że optymalna jest jak najmniejsza liczba pompowni o jak największym rozstawie. Zastosowanie tanich, ekonomicznych w eksploatacji przepompowni ścieków zmienia radykalnie powyższy obraz. Do optymalnego projektowania przewodów tłocznych stosować można z powodzeniem metody używane od lat w projektowaniu wodociągowych przewodów tranzytowych.

Kolejnym zadaniem jest opracowanie projektu przepompowni z uwzględnieniem harmonogramu optymalnego sterowania jej pracą. W ostatnich latach opracowano kilka metod rozwiązania takiego zadania. Często jednak rozwiązania optymalne nie mogą być realizowane ze względu na zbyt drogi asortyment produkowanych w kraju pomp. Opracowana została również metoda określania optymalnego rozstawu komór (studzienek) spadowych i wysokości ich przepadu, również w przypadku jednoczesnego stosowania na sieci komór spadowych i przepompowni ścieków. Metoda ta uwzględnia też łączny wpływ komór spadowych i przepompowni ścieków na optymalne przekroje i spadki

kanałów. Ze stosowaniem zbiorników retencyjnych na sieci kanałów wiąże się optymalizacja ich rozmieszczenia na sieci powiązana z ustaleniem optymalnej objętości każdego z nich. Rozwiązanie tego zadania nie nastręcza trudności jedynie dla prostych modeli: zbiornik retencyjny — kanał odprowadzający ścieki ze zbiornika. Nie ma natomiast metody, wg której możliwe byłoby optymalne rozmieszczenie na sieci kanalizacyjnej optymalnej liczby zbiorników o optymalnej objętości. Prowadzone obecnie próby rozwiązania tego problemu sprawdzają się do analizy skończonej liczby wariantów rozmieszczenia zbiorników o różnym stopniu redukcji odpływu ścieków. Należy propagować budowę zbiorników retencyjnych na początkowych odcinkach sieci, w miejscu powstawania ścieków (przede wszystkim deszczowych). Umożliwia to projektowanie tranzytowych kanałów nie na szczytowe przepływy, lecz na uśrednienie. Takie np. osiedlowe zbiorniki retencyjne należą do powszechnej praktyki projektowej w innych krajach.

Nie został również rozwiązany problem optymalnego rozmieszczenia płuczek kanałowych jak i określania ich optymalnej objętości. Rozwiązanie tego zadania może mieć duże znaczenie praktyczne, gdyż płuczki rozmieszcza się przede wszystkim na początkowych odcinkach sieci, co powoduje ich wypłylenie, a to z kolei bardzo często wpływa na wypłylenie (zmniejszenie kosztów) całej sieci poniżej.

Odrębnym zagadnieniem jest wybór optymalnego rozwiązania konstrukcyjnego i wymiarów różnych obiektów sieciowych, gdy wcześniej określmy już optymalne ich rozmieszczenie i zasadnicze parametry. Dotyczy to np. optymalnej liczby pomp i ich wielkości w przepompowniach, kształtu i wymiarów zbiorników retencyjnych itp. Niektóre z tych zagadnień już rozwiązano, inne są w trakcie bądź czekają na opracowanie.

Autorzy wielu wymienionych wyżej metod optymalizacji systemów usuwania ścieków i ich elementów, opracowali do tych metod programy komputerowe, co ułatwia korzystanie z nich. Wiele metod nie nadawałoby się do praktycznego wykorzystania bez tych programów. Przedstawione powyżej zagadnienia nie wyczerpują oczywiście wszystkich problemów związanych z projektowaniem systemów usuwania ścieków. Wymieniono tylko najważniejsze z nich, decydujące o współczesnych kierunkach badań prowadzących do udoskonalenia metod projektowania.

J. Wartalski

MODERN METHODS OF DESIGNING SEWER SYSTEMS

The designer of a modern and reliable sewerage is faced with a number of variables which have to be

taken into account. Of these, particular attention should be given to the influent sewage stream (and the method of determination), as well as to the phenomena occurring in the drains and some other objects of the system. Methods of optimizing individual elements of the sewer system are discussed.