

Caczo Caczew
Petko Iwanow

KIERUNKI ROZWOJU METODOLOGII PROJEKTOWANIA SYSTEMÓW KANALIZACYJNYCH W BUŁGARII

Aktualny stan oraz szybki rozwój współczesnych systemów kanalizacyjnych wymaga ciągłego udoskonalania metod projektowania a rozwiązywanie skomplikowanych zagadnień optymalizacji systemów usuwania ścieków możliwe jest już tylko pod warunkiem wykorzystania elektronicznej techniki obliczeniowej. Odnosi się to przede wszystkim do projektowania sieci kanalizacyjnych na terenach zamieszkałych, wymagających bardzo wysokich nakładów inwestycyjnych.

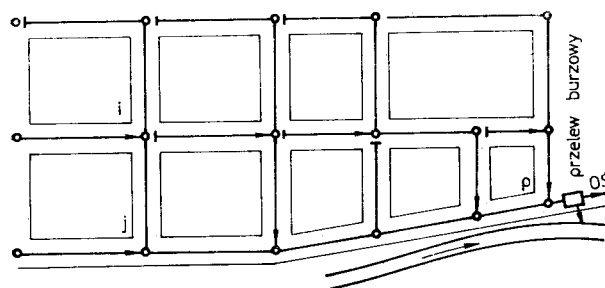
W niniejszej pracy przedstawiono dotychczasowe osiągnięcia w zakresie optymalnego projektowania sieci kanalizacyjnych w Bułgarii oraz możliwości stworzenia ujednoliconej metodyki postępowania w procesie projektowania systemów usuwania ścieków.

Optymalizacja trasowania sieci kanalizacyjnych

Sieci kanalizacyjne są złożonymi systemami inżynierskimi, składającymi się z wielu elementów, wpływających na ich działanie. Stąd też w projektowaniu sieci kanalizacyjnych najbardziej odpowiedzialnym etapem jest trasowanie. Przy złożonej (rozgałęzionej) strukturze sieci kanalizacyjnej oraz występowaniu konkretnych warunków urbanistycznych i topograficznych istnieje wiele technicznie możliwych rozwiązań. Modele matematyczne „najkrótsza droga” i „minimalny czas przepływu” [1] wykorzystywane do trasowania sieci grawitacyjnej, sporządzone zostały przy pomocy podejścia heurystycznego, bazującego na analogii przepływu w sieci do powierzchniowego spływu wody deszczowej z kanalizowanego terenu. Przy tworzeniu modelu „najkrótsza droga” wykorzystuje się zasadę najkrótszego pod względem odległości połączenia każdego węzła sieci (i) z węzłem końcowym (p). W ten sposób zachowana zostaje znana zasada kierowania kanałów bocznych po najkrótszej drodze do kolektorów głównych i nisko położonych części zlewni. Węzłem końcowym może być przelew burzowy, stacja pomp, odbiornik ścieków lub istniejący kolektor. Spośród wielu możliwych tras łączących węzeł (i) z węzłem końcowym sieci (p) o długości $L_{ip} = \sum l_{ij}$ wybiera się trasę o najkrótszej drodze L_{ip}^* czyli:

$$L_{ip}^* = \min L_{ip} \quad (1)$$

Równoległe z rozwiązaniem zadania „najkrótszej drogi” poszukuje się także drogi o maksymalnym spadku, przy stałej istniejącej (geodezyjnej) różnicy rzędnych węzłów (i) i (p) (rys. 1).



Rys. 1. Przykład trasowania sieci kanalizacyjnej

Wykorzystanie modelu „minimalny czas przepływu” zapewnia spełnienie wymogu jak najszybszego odprowadzenia ścieków od węzła sieci do punktu końcowego. Spośród wielu możliwych warunków powiązania każdego węzła sieci z węzłem końcowym, wybierane są takie trasy, które zapewniają minimalny czas przepływu ścieków $T_{ip} = \sum t_{ij}$ przy ich grawitacyjnym przepływie, tj:

$$T_{ip}^* = \min T_{ip} \quad (2)$$

Kryterium czasu przepływu określone jest przez parametry hydrauliczne sieci kanalizacyjnej [1]. W przybliżeniu czas przepływu można opisać wzorem:

$$t_{ij} \approx l_{ij} / V J_{ij} \quad (3)$$

gdzie: J_{ij} — spadek kanału

Zgodnie ze swoim funkcyjnym przeznaczeniem sieć kanalizacyjna stanowi złożony system transportowy dla przyjmowania i odprowadzania ścieków, a jej trasowanie musi zapewnić warunki niezbędne dla przyjęcia i ukierunkowanego odprowadzenia ścieków. Opisując sieć przy pomocy teorii grafów, transport ścieków można rozpatrywać jako problem potoku. Ze względu na sposób połączenia węzłów grafu wyjściowego istnieje wiele wariantów tras potoków ścieków i ich rozdziału w kanalizacji. Optymalny rozdział potoków jest bezpośrednio związany z problemem trasowania sieci i stanowi podstawę modelu matematycznego „minimalne koszty”. Zaproponowany model ma następującą postać [2]:

$$\sum c_{ij} l_{ij} = \sum (a_{st} + b_{st} Q_{ij}^{0,375} J_{ij}^{-0,185}) l_{ij} \rightarrow \min \quad (4)$$

gdzie:

c_{ij} — funkcja kosztów zależna od ilości ścieków Q_{ij} i spadku J_{ij}

a_{st}, b_{st} — współczynniki funkcji kosztów, posiadające różne wartości w zależności od przekroju rur i warunków gruntowych.

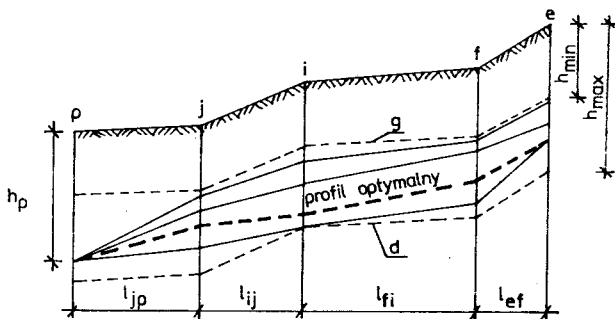
Na podstawie szczegółowych badań wpływu ilości ścieków deszczowych na wartość funkcji celu oraz uwzględniając specyfikę modelu, zastosowano następujące rozwiązanie: Przyjęto stały koszt jednostkowy (c_{ij}) dla każdego odcinka i wówczas zadanie uległo przekształceniu z wieloparametrowego na jednoparametrowe. Optymalizacja sprowadza się więc do znalezienia trasy kanałów o minimalnym sumarycznym koszcie:

$$c^*_{ip} = \min c_{ip} \quad (5)$$

Poszukiwanie optymalnego rozwiązania przedstawionych trzech zadań przeprowadza się metodą programowania dynamicznego z wykorzystaniem ETO. Oprócz optymalnego drzewa grafu (rys. 1), uzyskiwana jest także obszerna informacja o badanej sieci, której otrzymanie wymaga bardzo dużego nakładu pracy przy projektowaniu tradycyjnym. Rozpatrywane modele matematyczne stanowią oryginalne rozwiązanie i zasadniczo różnią się od znanych prac poświęconych temu problemowi [3, 4].

Optymalizacja profilu kanału

Wybór profilu podłużnego kolektora kanalizacyjnego jest bardzo ważnym zagadnieniem, posiadającym bezpośredni związek z kosztami budowy systemu kanalizacji. Na schemacie profilu podłużnego kanału (rys. 2) pokazano kilka technicznie możliwych wariantów profilu kanału, łącznie z profilami skrajnymi dla ograniczeń górnych (g) i dolnych (d).



Rys. 2 Schemat profilu podłużnego kanału

Optymalny profil podłużny kanału jest kompromisem pomiędzy dwiema krańcowymi możliwościami: mniejsze przekroje kanału, przy dużej jego głębokości lub duże przekroje kanału, przy mniejszych głębokościach. Zaproponowany model matematyczny jest analogiczny do modelu kosztowego opisanego wzorem (4). Model ten [5] zawiera zasadniczo inne podejście do zagadnienia niż modele znane w literaturze, uwzględniające średnicę kanału [6, 7].

Przy poszukiwaniu optymalnych profili podłużnych kanalizacji ogólnospławnej i deszczowej istotne znaczenie ma ilość ścieków deszczowych. W tym celu zaproponowana została oryginalna metodyka, która opiera się na wykorzystaniu średniego spadku rozpatrywanego kolektora, średniej średnicy, średniej prędkości

przepływu ścieków oraz całkowitego czasu przepływu ścieków kolektorem. Przy optymalizacji wykorzystano metodę programowania dynamicznego. W ten sposób funkcję celu można zapisać jako addytywną, tj. jako sumę jednego typu składowych jej parame rów (koszt poszczególnych odcinków $i-j$). Proces względnej optymalizacji prowadzi się od odcinka ostatniego do pierwszego, a bezwzględna optymalizację (wybór profilu optymalnego) otrzymujemy w kolejności odwrotnej.

Optymalizacja rozmieszczenia przelewów burzowych

Przelewy burzowe pozwalają na znaczne zmniejszenie przekrojów kolektorów kanalizacyjnych i kosztów ich budowy. Jednak równolegle z tym, przy dużej liczbie przelewów burzowych, ogólny koszt sieci zwiększa się z powodu kosztów samych przelewów i kanałów burzowych. Dlatego też określenie liczby przelewów jest w istocie zadaniem optymalizacyjnym. Bezpośredni wpływ liczby przelewów burzowych na koszty sieci kanalizacyjnej określa rodzaj zadania optymalizacyjnego. Optymalną liczbą będzie ta, przy której ogólne koszty budowy sieci będą minimalne. Proponowana funkcja celu ma postać:

$$C = C_s + C_k + C_p + C_b \rightarrow \min \quad (6)$$

gdzie:

- C_s — koszty budowy sieci bez kolektora
- C_k — koszty budowy kolektora
- C_p — koszty budowy przelewów burzowych
- C_b — koszty budowy kanałów burzowych.

Całkowite nakłady na budowę sieci kanalizacyjnej do odpowiedniego przelewu określić można po wykonaniu obliczeń hydraulicznych sieci, dla której wcześniej przeprowadzono optymalizację trasowania i optymalizację profili podłużnych kanałów. Obliczenia hydrauliczne można przeprowadzić np. przy pomocy programu KNIPIOIUS [8]. Po jednorazowym obliczeniu części sieci do przelewu otrzymany koszt sieci jest wielkością stałą i dlatego wielkość C_s można pominąć w funkcji celu (6). Koszty kolektora głównego C_k można określić za pomocą znanej już zależności (4). Określenia ilości ścieków dokonuje się zgodnie z zaleceniami i metodyką LNIIAKCh [1]. W celu wyznaczenia kosztów przelewów burzowych C_p zbadano możliwość określenia bezpośredniego ich związku z niektórymi wielkościami, charakteryzującymi je z punktu widzenia budowy i hydrauliki przelewów. Proponuje się, aby jako takie wielkości wprowadzić średnicę kolektora przed przelewem D_k lub szerokość kanału i długość przelewu bocznego l_p . Dla określenia poszukiwanej zależności wykorzystano rzeczywiste koszty budowy istniejących przelewów. Na podstawie przeprowadzonej analizy regresyjnej ustalona została następująca zależność:

$$C_p = -607 + 2,09 D_k + 217 l_p \quad (7)$$

Koszty budowy kanałów burzowych wyznacza się analogicznie jak koszty kolektorów. Dlatego też wzór (6) przyjmuje postać:

$$\begin{aligned}
C = & \sum_{i=1}^p (a_{st} + b_{st} Q_{ij}^{0,375} J_{ij}^{-0,1875}) L_{ij} + \\
& + \sum_{i=1}^p (-607 + 2,09 D_{ki} + 217 I_{pi}) + \\
& + \sum_{i=1}^p \sum_{m=1}^z (a_{st} + b_{st} q_{im}^{0,375} J_{im}^{-0,1875}) I_{im} \rightarrow \min
\end{aligned} \quad (8)$$

gdzie:

l_{ij} — długość kolektora pomiędzy dwoma przelewami burzowymi o numerach i oraz j
 l_{im} — długość kanału burzowego od i -tego przelewu do m -tego wylotu do odbiornika
 Q_{ij} — przepływ obliczeniowy ścieków (suma ścieków bytowo-gospodarczych, przemysłowych i deszczowych)
 q_{im} — natężenie odpływu ścieków z i -tego przelewu do odbiornika, obliczone ze wzoru (9):

$$q_{im} = Q_{i-1,i} - n_{oi} Q_{ij}^s \quad (9)$$

gdzie:

n_{oi} — krotność ilości ścieków Q_{ij}^s płynących kolektorem w czasie pogody bezdeszczowej.
 Funkcja celu opisana wzorem (9) jest podstawą dla modelu matematycznego optymalizacji ilości i rozmieszczenia przelewów. Obecnie opracowywany jest algorytm i program dla określania ilości przelewów, przy której koszt całej sieci jest najmniejszy.

Kompleksowe projektowanie kanalizacji z zastosowaniem ETO

Na podstawie wyników dotychczasowych prac oraz na bazie programów do optymalizacji sieci kanalizacyjnych można utworzyć ujednolicony system projektowania z wykorzystaniem elektronicznych maszyn cyfrowych. Posiadane programy obliczeniowe [9] umożliwiają wymiarowanie sieci kanalizacyjnej terenu o powierzchni do 250 ha zbudowanej z 300 węzłów. Projektowanie sieci może być dokonywane w sposób następujący:

- początkowe trasowanie sieci zgodnie z zaproponowanymi kryteriami, w celu wstępnego określenia tras głównych kolektorów
- rozmieszczenie przelewów burzowych wraz z optymalizacją ich liczby
- trasowanie części sieci przyporządkowanych do odpowiednich przelewów burzowych
- optymalizacja profilu podłużnego kolektorów głównych
- hydrauliczne obliczenie sieci.

Zaproponowana ujednoliconą metodyka projektowania oraz odpowiedni pakiet programów stwarzają realne przesłanki do kompleksowej optymalizacji sieci kanalizacyjnych. Dzięki temu optymalne wyniki końcowe procesu projektowania kanalizacji zostaną osiągnięte przy mniejszym nakładzie pracy i w znacznie krótszym czasie.

LITERATURA

1. T. GIRGINOW, P. IWANOW: Awtomatizacija i optimizacija w projektiranieto na seliszcznitie kanalizacionni mriezi. Godisznik na WIAS, t. XXXI, sw. XIV, Sofia 1985.
2. P. IWANOW: Trsenie na optimalno potckorozpriedelenie za trasirowka na kanalizacionni mriezi pri kritirij „Minimalna stojnost”. Godisznik na WIAS, t. XXXI, sw. XIV, Sofia 1985.
3. J. BARLOW: Cost optimization of pipe sewerage systems. Proc. Inst. Civ. Engrs, vol. 53, 1972.
4. L. MAYS, H. WENZEL, J. LIEBMANN: Model for layout and design of sewer systems. Journal of the WRP and Management Division, 1976.
5. P. IWANOW: Matematicheski model za optimiziranje wysoczinnoto rozpolozenije na kanalizacionnitie mriezi w nasielienitie miasta. Hidrotehnika i Mielioracija, no. 10, 1984.
6. E. CZECHIK, S. ODIELSKAJA, J. CAL: Wybor optimalnogo warianta profila kanalizacionnoj seti s ispolzowaniem ECWM. Wodosnabzenie i sanitarnaja tehnika, no. 6, 1986.
7. J. MIKOLAS: Samocinne pocitace pri navzohovani a posuhovani kanalizacnich system. Vodni hospodarstvi, no. 1, 1969.
8. G. SAROW i dr.: Awtomatizirano projektiranje na kanalizacionni mriezi w nasielieni miasta. Godisznik na WIAS, t. XXXI, sw. XIV, Sofia 1985.
9. C. CACZEW i dr.: Prolozienije na mikrokompiutry za awtomatizirano projektiranje na kanalizacionni mriezi i grupowi pieczistwatielni stancii. Tiema na WIAS, 1986.

C. Caczew, P. Iwanow

TRENDS IN THE DESIGN OF SEWER SYSTEMS IN BULGARIA

Current methods of investigating and the results of optimizing the sewer system in Bulgaria are presented.

Consideration is given to three generalized mathematical models which have been solved by the method of dynamic computer programming. A mathematical model for optimizing the longitudinal profile of an interceptor (by taking into account the arrangement of storm overflow in the combined sewage system) is proposed.