

dr inż. Jerzy Wartalski

Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska
Politechniki Wrocławskiej

OPTIMALIZACJA SPADKÓW I ŚREDNIC KOLEKTORÓW KANALIZACYJNYCH STREFOWANYCH POMPOWNIAMI ŚCIEKÓW

Procesy optymalizacji zyskują coraz większe znaczenie, szczególnie w tych działach gospodarki, w których występują duże dysproporcje między potrzebami a dysponowanymi środkami na ich zaspokojenie. Istotną część nakładów na inwestycje komunalne stanowią środki przeznaczone na budowę kolektorów kanalizacyjnych. Obecnie projektowanie sieci kanalizacyjnych odbywa się w oparciu o fachową literaturę [1, 4, 7]. Podane są tam podstawowe zasady projektowania oraz skrajne wartości parametrów technicznych, pozostawiając projektantowi dużą swobodę w ustalaniu wartości pośrednich tych parametrów. Nie podano również wskazówek, dotyczących ekonomicznych aspektów projektowania. Istniała zatem potrzeba opracowania uniwersalnej metody projektowania, która uwzględniałaby nie tylko warunki i ograniczenia techniczne, lecz także ekonomiczne.

Cel i zakres metody

Jak wynika z analizy dotychczasowych opracowań, zarówno krajowych jak i zagranicznych, brak było dotąd uniwersalnej metody projektowania optymalnych (pod względem technicznym i ekonomicznym) układów sieci kanalizacyjnych. Za cel metody przyjęto optymalne wymiarowanie kolektorów grawitacyjnych, w dolnych systemach kanalizacji tj. określenie optymalnych średnic i spadków wszystkich odcinków kolektora z uwzględnieniem przepompowni ścieków, jeśli zachodzi konieczność ich zastosowania. Rozważa się więc dalej układ modelowy, stanowiący pojedynczy kolektor, składający się z odcinków o kołowych przekrojach poprzecznych, o zrównanych w węzłach dnach, układany w terenie o dowolnym ukształtowaniu powierzchni. Obliczeniowe natężenia przepływu ścieków są na każdym odcinku dane i wobec tego mogą być określone w dowolny sposób, w zależności od rodzaju ścieków i systemu ich usuwania. Przepływ obliczeniowy odbywa się grawitacyjnie z całkowitym wypełnieniem przekroju.

Kryterium optymalizacji

Po szczegółowym rozważeniu, jako kryterium służące do poszukiwania optymalnego rozwiązania zadania przyjęto minimum kosztów bu-

dowy kolektora i strefowych pompowni ścieków. Pominięto tym samym koszty eksploatacji, co w przypadku kolektorów kanalizacyjnych nie ma istotnego wpływu na rozwiązanie zadania optymalizacji z następujących powodów:

- koszty budowy stanowią przeważającą część kosztów całkowitych,
- obecnie koszty eksploatacji sieci kanalizacyjnej określa się proporcjonalnie do kosztów budowy,
- brak jest wiarygodnych danych statystycznych dotyczących kosztów eksploatacji sieci,
- koszty eksploatacji zależą od szeregu czynników trudnych do określenia ilościowego (rodzaj sprzętu eksploatacyjnego, rodzaj ścieków, wielkość przekroju i spadku kanału itp.),
- ze względu na niewielkie wysokości podnoszenia koszty pompowania są niewielkie.

Koszty budowy odcinka kolektora opisuje się przy pomocy liniowej funkcji aproksymującej:

$$K_k = K_{kj}L = (a_k + b_k H_{\text{śr}} + c_k D)L, \text{ tys. zł} \quad (1)$$

gdzie:

- K_k — koszt budowy odcinka kolektora, tys. zł
- K_{kj} — koszt jednostkowy budowy kolektora, tys. zł/m
- L — długość odcinka kolektora, m
- a_k, b_k, c_k — współczynniki wielomianu aproksymującego jednostkowe koszty budowy kolektora
- $H_{\text{śr}}$ — średnie zagłębienie dna odcinka kolektora, m
- D — średnica odcinka kolektora, m.

Koszt budowy pompowni ścieków wyrażono również liniową funkcją aproksymującą:

$$K_p = a_p + b_p H, \text{ tys. zł} \quad (2)$$

gdzie:

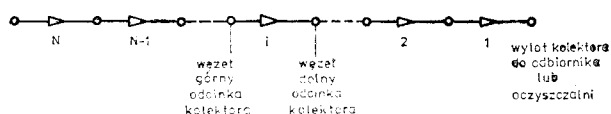
- K_p — koszt budowy pompowni ścieków, tys. zł
- a_p, b_p — współczynniki wielomianu aproksymującego koszty budowy pompowni
- H — zagłębienie dna kolektora w miejscu pompowni, m.

Przyjęcie liniowych funkcji aproksymujących dało w efekcie prostą postać funkcji celu, łatwą do przekształceń i różniczkowania (również

krótkie czasy obliczeń). Przebiegi rzeczywistych funkcji kosztów [5] również przemawiają za funkcjami liniowymi. Przy kosztorysowaniu projektów sieci kanalizacyjnych korzysta się także z interpolacji liniowej dla pośrednich, nie stabelaryzowanych, wartości katalogowych. Najważniejszą przyczyną zastosowania funkcji liniowych jest możliwość ich użycia do funkcji kosztów o dowolnych przebiegach, poprzez zastąpienie funkcji rzeczywistej funkcją odcinkami liniową.

Ogólny opis metody

Kolektor składa się z ciągu połączonych szeregowo odcinków, zakończonych pompownią ścieków. Ciąg ten charakteryzuje się tym, że parametry każdego i -tego odcinka zależą od parametrów odcinka $i+1$ -ego (za wyjątkiem N -tego). Parametry kolektora traktować można jako ciąg decyzji, w którym każda decyzja następna zależy od poprzedniej. Przy takim podejściu do problemu, zadanie wyboru optymalnych parametrów odcinków kolektora można rozwiązać w oparciu o zasadę programowania dynamicznego [2, 3, 6, 8], której podstawą jest zasada optymalności Bellman'a: dla dowolnego stanu początkowego ciągu decyzji dotyczących „ i ” kolejnych (począwszy od 1-szego) odcinków kolektora, ciąg tych decyzji winien być optymalny.



Rys. 1 Schemat kolektora kanalizacyjnego

Wyniki rozważań można odnieść do kolektora o dowolnej liczbie stref (pompowni), ponieważ decyzje podejmowane w odniesieniu do fragmentów kolektora, rozdzielonych pompowniami, nie mają na siebie wzajemnego wpływu (nie istnieje związek funkcyjny między rzędnymi dna kanału przed i za pompownią).

Rozwiązanie zadania sprowadza się do znalezienia minimum funkcji celu:

$$F = \sum_{i=1}^N Kk_i + Kp, \quad \text{tys. zł} \quad (3)$$

Przy czym:

$$Kk_i = h_i(Rp_i, D_i), \quad \text{tys. zł} \quad (4)$$

$$Rp_{i-1} = g_i(Rp_i, D_i), \quad \text{m npm} \quad (5)$$

gdzie:

Rp — rzędna dna kanału na początku odcinka, m npm

D — średnica odcinka kanału, m.

Funkcja:

$$f_k(Rp_k), \quad \text{tys. zł} \quad (6)$$

oznacza minimum funkcji celu (3) dla „ k ” kolejnych odcinków (tzn. przy $N=k$) przy założeniu, że stanem początkowym tego ciągu jest Rp_k . Funkcje (6), dla $k=1, 2, \dots, N$, wyznaczamy ze wzoru rekurencyjnego:

$$f_k(Rp_k) = \min \{ h_k(Rp_k, D_k) + f_{k-1}[g_k(Rp_k, D_k)] \}, \quad \text{tys. zł} \quad (7)$$

Jeśli $\tilde{D}_k(Rp_k)$, dla $k=1, 2, \dots, N$ oznaczają wartości D_k , dla których wyrażenia (7) przyjmują wartości minimalne, to wartości te nazywamy warunkowymi decyzjami optymalnymi.

W celu wyznaczenia bezwarunkowych decyzji optymalnych $\hat{D}_k$, wyznaczamy $\hat{Rp}_N$ takie, aby:

$$f_N(\hat{Rp}_N) = \min f_N(Rp_N), \quad \text{tys. zł} \quad (8)$$

a następnie

$$\hat{D}_N = \tilde{D}_N(\hat{Rp}_N), \quad \text{m} \quad (9)$$

Następnie kolejno, dla $k=N-1, N-2, \dots, 2, 1$, wyznaczamy:

$$\hat{Rp}_{k-1} = g_k(\hat{Rp}_k, \hat{D}_k), \quad \text{m npm} \quad (10)$$

$$\text{oraz } \hat{D}_{k-1} = \tilde{D}_{k-1}(\hat{Rp}_{k-1}), \quad \text{m} \quad (11)$$

Uzyskane w ten sposób decyzje $\hat{D}_N, \hat{D}_{N-1}, \dots, \hat{D}_2, \hat{D}_1$ stanowią optymalne rozwiązanie zadania.

Optymalizacja kolektora dla przyjętego przypadku projektowego

Zależność między spadkiem dna kolektora, a jego średnicą oraz przepływem obliczeniowym, wg formuły Manninga, jest następująca:

$$I = \frac{4^{10/3}}{\pi^2} \frac{Q_o^2 n_M^2}{D^{16/3}} \quad (12)$$

gdzie:

I — spadek dna odcinka kanału,

Q_o — obliczeniowe natężenie przepływu ścieków odcinkiem kanału, m^3/s

n_M — współczynnik do wzoru Manninga.

Średnie zagłębienie dna kanału na odcinku wynosi:

$$Hsr = Rt\bar{s}r - Rp + \frac{1L}{2}, \quad \text{m} \quad (13)$$

gdzie:

Hsr — średnia rzędna terenu na trasie odcinka, m npm

Rp — rzędna dna kanału na początku odcinka, m npm.

Zadanie optymalizacji parametrów kolektora strefowego można teraz, w oparciu o zasadę programowania dynamicznego, sformułować następująco: zminimalizować funkcję (3) przy założeniach:

$$Kk_i = (ak_i + bk_i Rt\bar{s}r_i - bk_i Rp_i + bk_i \frac{2^{17/3}}{\pi^2} \frac{Q_o^2 n_M^2 L_i}{D_i^{16/3}} + ck_i D_i) L_i, \quad \text{tys. zł} \quad (14)$$

$$Kp = ap + bp Rt\bar{s}r_1 - bp Rp_o, \quad \text{tys. zł} \quad (15)$$

$$Rp_{i-1} = Rp_i - \frac{2^{20/3}}{\pi^2} \frac{Q_{oi}^2 n_{Mi}^2 L_i}{D_i^{16/3}}, \quad m \text{ nrm} \quad (16)$$

Po analizie wzoru rekurencyjnego (7) otrzymano wzory do praktycznych obliczeń optymalizacyjnych:

$$\overset{\circ}{R}_{pN} = Rtp_N - Hmin_N - \overset{\circ}{D}_N, \quad m \text{ nrm} \quad (17)$$

$$\widetilde{D}_k = \left[\frac{2^{29/3}}{3\pi^2} \frac{Q_{ok}^2 n_{Mk}^2}{ck_k} (bk_k L_k + 2 \sum_{j=1}^{k-1} bk_j L_j + 2bp) \right]^{3/19}, \quad m \quad (18)$$

Spadek dna kanału wyznaczyć można z zależności (12).

Warunki ograniczające dopuszczalne rozwiązanie

Optymalne parametry kolektora (średnice, rzędne i spadki dna) określone bez warunków ograniczających mogą mieć zastosowanie tylko w wyjątkowych przypadkach. Metoda, aby była przydatna w praktyce, musi uwzględniać szereg ograniczeń, wynikających z obowiązujących norm, wytycznych projektowania oraz innych przesłanek formalnych i logicznych. Do ograniczeń tych należy zaliczyć: typizację elementów, możliwości przedsiębiorstw wykonawczych, ekstremalne prędkości przyprływu ścieków, minimalne i maksymalne zagłębienie kanałów, minimalne średnice kanałów itp. Postępowanie optymalizacyjne, z uwzględnieniem warunków ograniczających, jest tutaj identyczne jak w zadaniu optymalizacji kolektora bez pompowni sieciowych i zostało szczegółowo omówione w pracach [9, 10, 11]. Zaproponowano tam również sposób postępowania w przypadku sprzeczności warunków ograniczających.

Wnioski

Obliczenia przy użyciu opisanej metody są żmudne i praktycznie możliwe do przeprowadzenia, dla dużych układów, przy pomocy e.m.c. Obecnie na ukończeniu jest program na e.m.c. Odra 1305 do omówionej metody oraz prowadzone są dalsze prace, których celem ostatecznym jest metoda (wraz z oprogramowaniem) optymalizacji całych układów sieciowych usuwania ścieków.

LITERATURA

1. W. BŁASZCZYK, M. ROMAN, H. STAMATELLO: Kanalizacja t. 1. Arkady, Warszawa 1974.
2. W. FINDEISEN, T. SZYMANOWSKI, A. WIERZBICKI: Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji. PWN, Warszawa 1977.
3. W. GRABOWSKI: Programowanie matematyczne. PWE, Warszawa 1980.
4. K. IMHOFF: Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. Arkady, Warszawa 1970.
5. Katalog orientacyjnych wskaźników jednostkowych nakładów inwestycyjnych w zakresie gospodarki komunalnej, gospodarki mieszkaniowej i budownictwa komunalnego. Centrum Techniki Komunalnej — Zakład Ekonomiki Budownictwa, Warszawa 1971.
6. I. LEA: Optymalizacja, PWN, Warszawa 1975.
7. R. RANDOLF: Kanalisation und Abwasserbehandlung, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1966.
8. J. SEIDLER, A. BADACH, W. MOLISZ: Metody rozwiązywania zadań optymalizacji. WNT, Warszawa 1980.
9. J. WARTALSKI: Optymalizacja średnic i spadków kolektora kanalizacyjnego. Materiały konferencyjne, Kołobrzeg 1983.
10. J. WARTALSKI: Optymalizacja układu rozprzeczania ścieków. Optymalizacja kolektora. Raport Inst. Inż. Ochr. Środ. P. Wr., Wrocław 1983.
11. J. WARTALSKI: Optymalizacja wybranych parametrów kolektorów zbiorczych w układach sieciowych systemów usuwania ścieków. Praca doktorska, Wrocław 1983.