

Krzysztof Bartoszewski
Michał Kuczyński

LOKALIZACJA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW A OCHRONA WÓD PRZED ZANIECZYSZCZENIEM

W procesie sterowania jakością wód powierzchniowych szczególną rolę przypada oczyszczalniom ścieków, jako obiektom bezpośrednio wpływającym na poziom zanieczyszczenia wód. Z uwagi na wysoką cenę tych obiektów, istotne znaczenie ma metodologia ich projektowania, zwłaszcza w aspekcie uzyskiwania rozwiązań optymalnych i jednocześnie zapewniających właściwą ochronę wód odbiornika [1—3].

Celem niniejszego artykułu było opracowanie symulacyjnej metody wspomagania procesu projektowania systemu oczyszczania ścieków, umożliwiającej szybkie przetestowanie wpływu następujących decyzji na koszt i jakość całego systemu:

- ilość oczyszczalni
- lokalizacja oczyszczalni
- stopień oczyszczania ścieków
- przepustowość oczyszczalni
- sposób prowadzenia sieci kanalizacyjnej.

Elementem utrudniającym rozwiązanie tego zagadnienia był fakt, że żaden z wymienionych typów decyzji nie może być rozpatrywany osobno. W rezultacie rozpatrywany problem jest wielokryterialny i nieliniowy. W pracy podjęto próbę analizy tego zagadnienia oraz zaproponowano kompromisową metodę jego rozwiązania.

Założenia metody

Przyjmuje się, że najlepszą metodą wspomagania procesu projektowania systemu oczyszczalni jest wykorzystanie modelu symulacyjnego, uwzględniającego rzeczywisty przebieg procesów jednostkowych w środowisku wodnym. Metoda symulacyjnego wyboru wariantów lokalizacji oczyszczalni wymaga przyjęcia następujących założeń:

1. Obliczenia prowadzone będą kolejno dla jednego wskaźnika stanu zanieczyszczeń (np. BZT₅, zawiesina); otrzymane rozwiązania optymalne mogą się różnić dla różnych wskaźników, a ostateczną decyzję podejmuje projektant, korzystając również ze zbioru rozwiązań pośrednich.
2. Przyjmuje się odpowiedni model zmian zanieczyszczeń w wodzie odbiornika [5].
3. Efektywność oczyszczania ścieków w

oczyszczalniach nie może być większa niż 97%.

4. Po wprowadzeniu ścieków oczyszczonych do odbiornika zachowana będzie wymagana klasa jego czystości.

5. Obliczenia prowadzone będą dla miarodajnych wartości natężeń przepływów.

6. Wszystkie dopuszczalne lokalizacje oczyszczalni ścieków są jednoznacznie określone warunkami terenowymi.

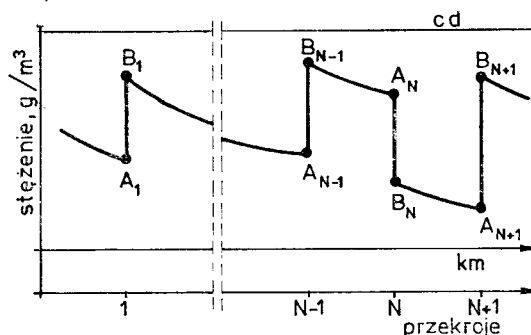
7. Podział rzeki na odcinki uwzględnia dopuszczalne lokalizacje oczyszczalni, tzn. lokalizacje mogą występować tylko na granicy odcinków (w punktach charakterystycznych).

8. Znany jest aktualny rozkład zanieczyszczeń w odbiorniku (profil hydrochemiczny).

9. Ustalono rozmieszczenie wszystkich potencjalnych źródeł zanieczyszczeń (wraz z ich współrzędnymi geometrycznymi), które mają być włączone do sieci kanalizacyjnej.

Koncepcja rozwiązania zagadnienia

Decyzje projektowe, które będą podejmowane podczas procesu symulacji, związane są z określonym profilem hydrochemicznym odbiornika (rys. 1).

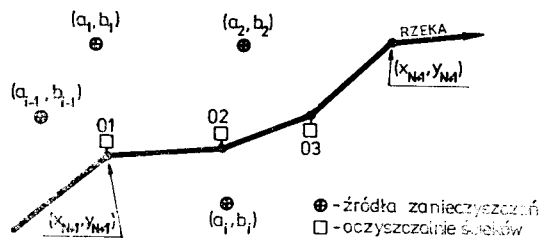


Rys. 1 Rozkład stężeń zanieczyszczeń w rzece

Zmienne A_i i B_i oznaczają odpowiednio stężenie wskaźnika na granicy odcinków (i) oraz ($i+1$). Sposób podziału odbiornika o długości L na N odcinków, uwarunkowany jest dokładnością aproksymacji oraz występowaniem dopływów lub innych źródeł (punktów stałych), zmieniających właściwości odbiornika. Zbiór decyzji ograniczony jest warunkiem nieprzekraczalności przyjętej klasy czystości, wyrażonej stężeniem dopuszczalnym C_d .

Drugie ograniczenie, któremu podlegają zmienne decyzje, wynika z rozmieszczenia źródeł

ścieków w terenie, warunków terenowych oraz dopuszczalnych lokalizacji oczyszczalni ścieków (rys. 2).



Rys. 2 Rozmieszczenie źródeł ścieków i oczyszczalni

Źródła zanieczyszczeń o współrzędnych (a_i, b_i) mogą tworzyć jedną sieć, doprowadzoną do oczyszczalni 01 lub dwie odrębne sieci, kończące się w oczyszczalniach 02 i 03. Są to oczywiście dwa z wielu możliwych wariantów połączeń. Każdy nowy wariant spowoduje zmianę kosztów sieci (długość, przepływ) oraz systemu oczyszczania (miejsce zrzutu ścieków w profilu hydrochemicznym, stopień oczyszczania itd.). Zadanie polega na tym, aby przy uwzględnieniu powyższych ograniczeń tak zaprojektować sieć kanalizacyjną wraz z systemem oczyszczalni, aby ich łączny koszt był minimalny [4].

Model matematyczny procesu decyzyjnego

Niech (a_i, b_i) oznacza zbiór współrzędnych źródeł zanieczyszczeń, natomiast (x_i, y_i) zbiór współrzędnych dopuszczalnych punktów lokalizacji oczyszczalni. Pewna przyjęta k -ta lokalizacja oczyszczalni oznacza poniesienie kosztów budowy i eksploatacji obiektu (K_o) oraz podobnych kosztów dla sieci kanalizacyjnej (K_s) . Zarówno (K_o) jak i (K_s) są funkcjami współrzędnych (a) i (b) oraz (x) i (y) , a ponadto zależą od wydajności poszczególnych źródeł (L_i) . Dodatkowo K_o zależy od stężenia ścieków (S) oraz efektywności ich oczyszczania w oczyszczalni (η) . Wśród wszystkich dopuszczalnych lokalizacji istnieje taka o współrzędnych (x^*, y^*) , która minimalizuje sumę kosztów: $K_o + K_s = K_{min}$.

Sformułowanie globalnego zadania optymalizacji wymaga jeszcze wprowadzenia pewnych dodatkowych oznaczeń. Niech $G_k(W_k, U_k)$ będzie grafem zbudowanym na zbiorze punktów źródłowych wraz z k -tą lokalizacją oczyszczalni, a $H_k(W_k, V_k)$ — drzewem tego grafu $(V_k \subset U_k)$. Wówczas zadanie minimalizacji kosztu sieci można zapisać następująco:

$$\min \sum_{u_k \in V_k} l(u_k) \quad (1)$$

gdzie liczba $l(u_k) > 0$ jest kosztem związanym z budową i eksploatacją odcinka sieci kanalizacyjnej (tzw. łuku). Ponieważ minimalizację taką przeprowadzić należy dla każdej dopuszczalnej lokalizacji, problem globalny można zapisać jako:

$$\min_{k, \eta} \left[f(\eta, S, Q_i, x_k, y_k) + \min_{u_k \in V_k} \sum l(u_k) \right] \quad (2)$$

Aby nie zostały przekroczone dopuszczalne wartości stężeń zanieczyszczeń w odbiorniku, należy jeszcze dołączyć do zadania ograniczenia w postaci:

$$B_1 + p_1 \cdot h_1 \leq C_d$$

$$\frac{(B_1 + p_1 \cdot h_1) c_1 Y_2 + (B_2 + p_2 \cdot h_2) Q_2 - A_2 Y_2}{Q_2} \leq C_d \quad (3)$$

itd., dla wszystkich rozważanych odcinków rzeki. Funkcja h_k , zależąca od η, S oraz Q_i , oznacza wzrost stężenia zanieczyszczeń w odbiorniku po wprowadzeniu ścieków z projektowanej oczyszczalni, natomiast liczba p_i spełnia warunki:

$$p_i = 0 \text{ lub } 1 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

$$\sum_i p_i = 1 \quad (5)$$

Równanie (5) obowiązuje tylko dla jednej oczyszczalni ścieków. W przypadku uwzględnienia możliwości projektowania większej liczby (M) obiektów, warunek (5) przyjmuje postać:

$$\sum_i p_i \in N(1, M) \quad (6)$$

gdzie $N(1, M)$ oznacza zbiór liczb naturalnych z przedziału $< 1, M >$, a minimalizacja wyrażenia (2) powinna być dodatkowo prowadzona z uwzględnieniem liczby i wielkości oczyszczalni. Uogólnienie to daleko bardziej komplikuje i tak już złożony problem.

Przedstawiony tutaj model matematyczny procesu decyzyjnego ma postać uniemożliwiająca stosowanie typowych metod optymalizacji.

Potwierdza to słuszność decyzji o symulacyjnej metodzie poszukiwania rozwiązania optymalnego. Podczas symulacji funkcja celu (2) nie jest minimalizowana analitycznie, lecz jej wartość będzie obliczana dla zadanych wartości zmiennych decyzyjnych. Większość z nich wynika z przyjętej konstrukcji sieci kanalizacyjnej, choć mogą one być również szacowane przez projektanta. Natomiast decyzję co do efektywności oczyszczania ścieków podpowiada program, korzystając z ograniczeń (3). Wartość funkcji h_k obliczana jest automatycznie, a oznacza ona przyrost stężenia rozpatrywanego wskaźnika w k -tym przekroju, spowodowany doprowadzeniem ścieków w tym przekroju, oczyszczonych z efektywnością η , zdefiniowaną następująco:

$$\eta = \frac{L_{we} - L_{wy}}{L_{we}} \cdot 100\% \quad (7)$$

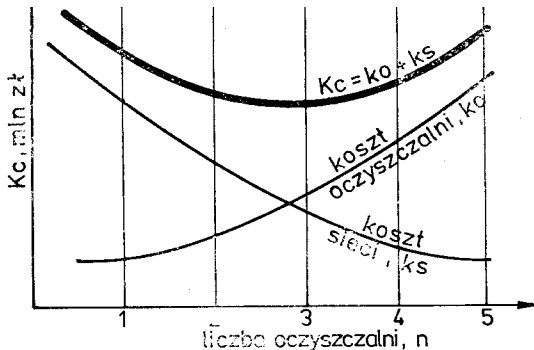
L_{we} i L_{wy} oznaczają odpowiednio ładunek ścieków doprowadzanych i odprowadzanych z oczyszczalni. Przyjmuje się, że ścieki doprowadzane do odbiornika nie wpływają na wielkość przepływu wody.

Koncepcja symulacyjnej metody projektowania

Rozwiązanie problemu lokalizacji oczyszczalni wyróżnia dwie fazy:

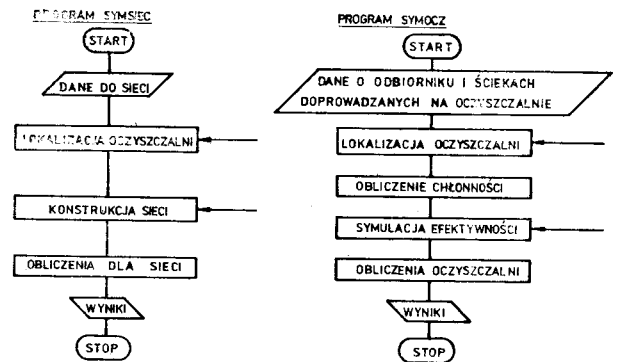
- projektowanie sieci kanalizacyjnej
- projektowanie systemu oczyszczalni.

Oba projekty różnią się bardzo istotnie, zachowując jednocześnie cechę wspólną — wpływ na globalny koszt całego przedsięwzięcia. W literaturze różnie przedstawia się ten wpływ, przeważa jednak pogląd, że suma kosztów sieci i oczyszczalni ścieków posiada minimum nie dla jednego obiektu, lecz dla pewnej optymalnej liczby oczyszczalni (rys. 3).



Rys. 3 Wykres funkcji kosztów dla problemu globalnego

Związana jest z tym konieczność przebadania różnych ilości oczyszczalni ścieków. Przebadanie takie rozumiane jest tutaj jako symulacja działania oczyszczalni na drodze założenia ich efektywności oczyszczania (η) oraz przeanalizowania wpływu odprowadzanych ścieków na wartości wskaźników wód obornika. Zadanie to może być realizowane przez program SYMOCZ, który może pracować indywidualnie lub też współdziałać z programem SYMSIEC (rys. 4). Program SYMSIEC wyznacza koszt sieci kanalizacyjnej wg różnych wariantów przyjętych przez projektanta. Równolegle prowadzi się symulację efektywności oczyszczalni. Efektem programu SYMOCZ jest wydruk minimalnych kosztów inwestycyjnych oczyszczalni wraz z podaniem miejsca ich lokalizacji i optymalnych stopni oczyszczania ścieków. Natomiast program SYMSIEC drukuje układ połączeń (w postaci łańcucha) źródeł ścieków z oczyszczalniami dla sieci o najmniejszym koszcie całkowitym.



Rys. 4 Schemat działania programów symulacyjnych (strzałki oznaczają bloki, gdzie podejmuje się decyzje projektowe)

Wnioski

1. Omówiona metoda symulacyjna i opracowane programy pozwalają na obliczenie optymalnych lokalizacji oczyszczalni, z uwzględnieniem oczyszczalni istniejących, ich rozbudowy jak też budowy oczyszczalni nowych.
2. W programach SYMOCZ i SIMSIEC (na mikrokomputer SPECTRUM) nie wprowadzono funkcji kosztów, ponieważ ich postać zależy od wielu czynników. Funkcje te (w postaci analitycznej) należy wprowadzać jako dane przy każdym uruchomieniu programu.
3. Prowadzone są obecnie prace nad dalszym udoskonaleniem obu programów, w tym także poprzez ich połączenie i automatyzację.

LITERATURA

1. B. N. LOHANI, N. C. THANK: Stochastic Programming Model for Water Quality Management in a River. J. Wat. Poll. Contr. Fed. No 9, 1978.
2. A. O. CONVERSE: Optimum Number and Location of Treatment Plants. J. Wat. Poll. Contr. Fed., No 8, 1972.
3. M. NAITO: Optimum Planning of Sewage Treatment Systems for Preserving Stream Quality. Proc. of 5th Congress IFAC, Paris 1972.
4. E. LOEHMAN: Cost Allocation for a Regional Wastewater Treatment System. Water Res. No 4, 1979.
5. K. BARTOSZEWSKI, W. SŁOMKA: Obliczanie chłonności rzek na zanieczyszczenia. Mat. Konf. „Współczesne problemy gospodarki wodno-ściekowej”, PZITS, Kołobrzeg 1985.

K. Bartoszewski, M. Kuczyński

OPTIMUM SITING OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS AS AN INSTRUMENT OF WATER POLLUTION CONTROL

A simulation method for the design of a wastewater treatment system is described. In this method the

overall cost of the system has been related to the site and the number of treatment plants in the river catchment area, as well as to the location of the sewerage. Appropriate programmes have been developed for a Spectrum microcomputer. These not only enable calculation of optimum siting conditions, but also include the existing treatment plants operated in the catchment area of interest.