

Krzysztof Bartoszewski
Magdalena Kwiatkowska

ZASADY WYBORU SYSTEMU OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW

Oczyszczalnia przyjmująca ścieki z kilku lub kilkunastu jednostek osadniczych określana jest mianem oczyszczalni grupowej. Oczyszczalnia taka jest systemem składającym się z następujących elementów:

- sieć kanalizacyjna w każdej miejscowości,
- sieć łącząca (grawitacyjna, ciśnieniowa) poszczególne miejscowości z oczyszczalnią,
- oczyszczalnia ścieków.

Uważa się często, że koszty systemu usuwania ścieków z oczyszczalnią grupową są niższe niż koszty sieci kanalizacyjnej i oddzielnych oczyszczalni ścieków dla każdej miejscowości. Dodatkowo przyjmuje się, że jednostkowe koszty oczyszczania ścieków w oczyszczalni grupowej są niższe, niż dla wielu oczyszczalni w każdej miejscowości (tzw. efekt skali). Uwzględniając także skoncentrowanie całej obsługi na jednej oczyszczalni grupowej, otrzymuje się często jednoznaczne argumenty przemawiające za tym systemem oczyszczania ścieków.

Wydaje się jednak, że sprawa ta nie jest tak jednoznaczna. Podstawowymi wielkościami wpływającymi na wybór systemu usuwania i oczyszczania ścieków, w tym i oczyszczalni grupowej, są warunki ograniczające. Warunki te mogą być mierzalne, jak np. nieprzekraczanie dopuszczalnych stężeń w wodzie odbiornika, maksymalne (technicznie możliwe) stop-

nie oczyszczania ścieków, itd; lub też niemierzalne, jak np. przepisy określające warunki odprowadzania ścieków do gruntu lub przepisy prawa dotyczące ochrony obszarów szczególnie chronionych, w tym także parków narodowych.

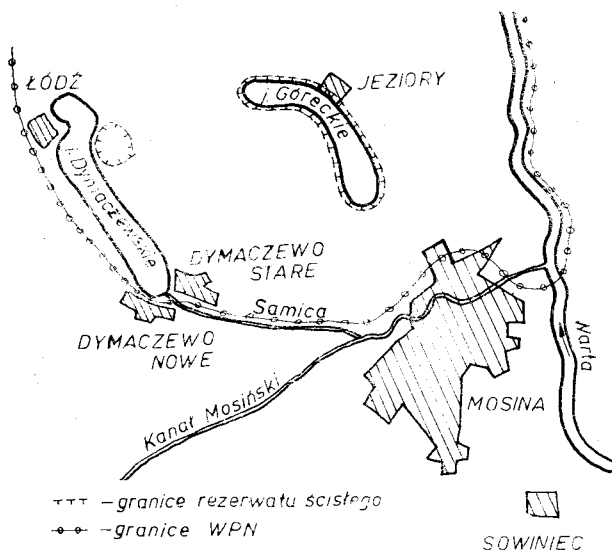
Na przykładzie miejscowości zlokalizowanych na obszarze południowej części Wielkopolskiego Parku Narodowego (WPN) omówiono rolę i znaczenie warunków ograniczających, wpływających na rozwiązanie systemu usuwania ścieków. Na obszarze tym zlokalizowanych jest sześć miejscowości, w tym jedno miasto Mosina (rys. 1). Teren WPN jest intensywnie wykorzystywany rekreacyjnie przez mieszkańców Poznania (linia kolejowa Poznań — Osowa Góra). W granicach WPN znajduje się wieś Jezioro, a także ośrodki wczasowe zlokalizowane nad jeziorami oraz sanatoria. W miejscowości Sowiniec znajdują się ujęcia wód podziemnych, stanowiące główne źródło zaopatrzenia Poznania w wodę. We wszystkich miejscowościach brak jest sieci kanalizacyjnej. Dominujący sposób oczyszczania ścieków to osadniki gnilne lub tzw. ustępy suche. Potencjalne i rzeczywiste odbiorniki ścieków stanowią jeziora na terenie WPN oraz rzeczka Samica, a także Kanał Mościński i Warta. Konieczność uporządkowania gospodarki ściekowej tego obszaru, z uwzględnieniem okresowego wzrostu ilości ścieków w dniach wolnych od pracy, jest typowym przykładem wyboru systemu usuwania i oczyszczania ścieków w oparciu o optymalizację tego systemu.

Metodyka obliczeń

Podstawowym kryterium decyzyjnym wyboru optymalnego systemu usuwania i oczyszczania ścieków są koszty (funkcja celu), obliczane jako koszty inwestycyjne (I) lub też w postaci syntetycznego wskaźnika efektywności inwestycji (E). Funkcje celu mają następującą postać:

$$I = \sum_{i=1}^m S_i + \sum_{j=1}^n d_j Q_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} Q_{ij} \quad (1)$$

$$E = \frac{I z(r+s) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_j + c_{ij}) Q_{ij}}{\sum_{i=1}^m Q_i} \quad (2)$$



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia miejscowości w obszarze WPN

gdzie:

- $i=1, 2 \dots m$ — liczba miejscowości
 $j=1, 2 \dots n$ — liczba oczyszczalni ścieków
 S_i — koszt budowy sieci kanalizacyjnej w i -tej miejscowości, zł
 k_j — jednostkowy (zmienny) koszt budowy sieci łączącej i -tą miejscowość z j -tą oczyszczalnią ścieków, zł/m
 d_j — jednostkowy (zmienny) koszt budowy j -tej oczyszczalni ścieków, zł/m³d
 c_j — jednostkowy (zmienny) koszt oczyszczania ścieków (eksploatacja) w j -tej oczyszczalni, zł/m³d
 c_{ij} — jednostkowy (zmienny) koszt (eksploatacja) przesyłania ścieków, zł/m³d
 Q_i — ilość ścieków powstających w i -tej miejscowości, m³/d
 Q_j — ilość ścieków oczyszczanych w j -tej oczyszczalni, m³/d
 r — stopa dyskontowa, $r=0,08$
 s — średnia stawka amortyzacyjna
 z — współczynnik zamrożenia zależny od czasu budowy.

Równania pozwalające na obliczenie wartości funkcji celu mają następującą postać:

Koszty budowy sieci kanalizacyjnej w każdej miejscowości [1]:

$$S_i = 75,23 M^{0,549} \quad (3)$$

gdzie:

- S_i — koszt budowy sieci, mln zł
 M — liczba mieszkańców, tys.

Koszty budowy sieci łączących poszczególne miejscowości [1]:

a) dla układu grawitacyjnego:

$$k_{ij} = (0,001481 Q + 12) L_u \quad (4)$$

gdzie:

- k_{ij} — koszty sieci łączących miejscowości, mln zł
 Q — natężenie przepływu ścieków w kanale, m³/d
 L_u — długość odcinka kanału, km

b) dla układu ciśnieniowego:

$$k_{it} = (0,001755 Q + 6,955) L_u \quad (5)$$

gdzie:

- k_{it} — koszty sieci łączących miejscowości, mln zł

Koszty budowy oczyszczalni ścieków [3]:

$$d_j = 0,2898 Q^{0,7} (1,876 + 4,377 S - 0,767 S^2) [330 (n - 0,75)^5 + 0,81] \quad (6)$$

gdzie:

- d_j — koszty budowy oczyszczalni mechaniczno-biologicznej, mln zł
 S — stężenie BZT₅ ścieków dopływających, kgO₂/m³
 Q — natężenie przepływu ścieków, m³/d
 n — stopień oczyszczania

Koszty eksploatacji oczyszczalni [2]:

$$c_j = 609,55 Q \cdot e_j \quad (7)$$

gdzie:

- c_j — koszty eksploatacji oczyszczalni, zł
 Q — natężenie przepływu ścieków, m³/d
 e_j — wskaźnik kosztów eksploatacji [2], zł/m³

Wszystkie koszty określone równaniami (3)–(7) dotyczą poziomu cen z 1986 roku. Ilości ścieków powstających w każdej miejscowości (Q_i) rozpatrywanego obszaru przyjęto wg danych BPBK w Poznaniu [4] i przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1
CHARAKTERYSTYKA ŚCIEKÓW Z MIEJSCOWOŚCI POŁOŻONYCH W POŁUDNIOWEJ CZĘŚCI WPN (DLA 2000 R.)

Miejscowość	LM	$Q_{\text{śrd}}$ m ³ /d	C_{BZT_5} gO ₂ /m ³	L_{BZT_5} kgO ₂ /d
Mosina	18000	8195	222	1797,0
Dymaczewo Nowe	300	60	325	19,5
Dymaczewo Stare	400	80	325	26,0
Łódź	2500	750	216	162,5
Sowiniec	500	100	325	32,5
Jezioro	500	201	161	32,5
Razem	22200	9386	220	2070,0

Funkcje celu (1) lub (2) rozwiązywać można przy różnych ograniczeniach, z których podstawowe to:

$$\sum_{i=1}^m Q_i \leq Q_{\text{max}} \quad (8)$$

$$Q_j \leq Q_d \quad (9)$$

$$Q_j > 0 \quad (10)$$

gdzie:

- Q_{max} — maksymalna ilość ścieków ze wszystkich miejscowości, m³/d
 Q_d — maksymalna ilość ścieków odprowadzana z j -tej oczyszczalni, określona dopuszczalną chłonnością rzek na zanieczyszczenia i technicznie możliwym stopniem oczyszczania ścieków, m³/d.

Przyjmując dodatkowe kryteria ograniczające (inne niż podstawowe), otrzymuje się różne optymalne systemy usuwania ścieków dla tych samych danych początkowych.

Wyniki obliczeń

Celem zobrazowania postępowania optymalizacyjnego, przyjęto do obliczeń sześć wariantów rozwiązania gospodarki ściekowej.

Wariant 1 zakłada budowę oczyszczalni ścieków w każdej miejscowości ($j=6$). Ścieki oczyszczone z ośrodka wypoczynkowego Łódź odprowadzane będą do jeziora Dymaczewskiego, z miejscowości Jezioro do jeziora Góreckiego, z Dymaczewa Starego i Nowego do rzeczki Samicy, zaś z Mosiny i Sowinca do Warty. Wariant ten jest bardzo niekorzystny z uwagi na ochronę środowiska naturalnego, gdyż ścieki odprowadzane są do odbiorników wody stojącej, co stwarza możliwość kumulacji zanieczyszczeń i stopniową ciągłą degradacją jakości wody.

Wariant 2 zakłada budowę czterech lokalnych oczyszczalni ścieków w miejscowościach: Mosi-

na, Sowiniec, Jezioro i Dymaczewo Nowe ($j=4$). Ścieki oczyszczone z Mosiny i Sowińca odprowadzane będą do Warty, z Jeziora do jeziora Góreckiego, zaś z Dymaczewa Nowego do rzeczki Samicy. Ścieki z miejscowości Łódź przepompowywane będą dwoma rurociągami tłocznymi, zaś z Dymaczewa Starego transportowane grawitacyjnie do oczyszczalni ścieków w Dymaczewie Nowym.

Wariant 3 zakłada budowę czterech lokalnych oczyszczalni ścieków w miejscowościach: Mosina, Jezioro, Łódź i Dymaczewo Nowe ($j=4$). Ścieki oczyszczone z Mosiny odprowadzane będą do Warty, z Jeziora do Jeziora Góreckiego, z Łodzi do jeziora Dymaczewskiego, zaś z Dymaczewa Nowego do rzeczki Samicy. Ścieki z Sowińca przepompowywane będą do kanału w Mosinie, zaś z Dymaczewa Starego transportowane grawitacyjnie do oczyszczalni w Dymaczewie Nowym.

Wariant 4 zakłada budowę trzech lokalnych oczyszczalni ścieków w miejscowościach: Mosina, Dymaczewo Nowe i Sowiniec ($j=3$). Ścieki oczyszczone z Mosiny i Sowińca odprowadzane będą do Warty, zaś z Dymaczewa Nowego do rzeczki Samicy. Ścieki z Łodzi będą przepompowywane, natomiast z Dymaczewa Starego będą spływały grawitacyjnie do oczyszczalni ścieków w Dymaczewie Nowym. Ścieki z Jeziora będą przepompowywane do kanału w Mosinie.

Wariant 5 zakłada budowę dwóch oczyszczalni ścieków w miejscowościach Mosina i Dymaczewo Nowe ($j=2$). Ścieki oczyszczone z Mosiny odprowadzane będą do Warty, zaś z Dymaczewa Nowego do rzeczki Samicy. Ścieki z Łodzi będą przepompowywane, natomiast z Dymaczewa Starego będą spływały grawitacyjnie do oczyszczalni ścieków w Dymaczewie Nowym. Ścieki z Jeziora i Sowińca będą przepompowywane do kanału w Mosinie.

Wariant 6 zakłada budowę jednej grupowej oczyszczalni ścieków w Mosinie ($j=1$). Ścieki oczyszczone z Mosiny odprowadzane będą do Warty. Ścieki z pozostałych miejscowości będą transportowane grawitacyjnie lub ciśnieniowo (zależnie od ukształtowania terenu) do kanału w Mosinie.

W oparciu o równania (3)–(7) oraz dane z tabeli 1 obliczono:

- nakłady inwestycyjne na budowę oczyszczalni ścieków w poszczególnych wariantach (tab. 2),
- nakłady inwestycyjne dla całego systemu usuwania ścieków (tab. 3),
- koszty eksploatacyjne systemu oczyszczania ścieków w poszczególnych wariantach (tab. 4),
- syntetyczne wskaźniki efektywności inwestycji w poszczególnych wariantach (tab. 5).

Zgodnie z przyjętymi założeniami, wartości w ostatniej kolumnie tabeli 3 oraz w tabeli 5

Tabela 2
KOSZTY BUDOWY OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW
DLA POSZCZEGÓLNYCH MIEJSCOWOŚCI
W RÓŻNYCH WARIANTACH (mln zł)

Wariant	Mosina	Jezioro	Sowiniec	Łódź	Dymaczewo Nowe	Dymaczewo Stare	Razem
1	387,17	41,87	21,44	106,65	21,02	25,71	603,86
2	389,17	41,87	21,44	—	126,1	—	578,58
3	392,42	41,87	—	106,65	38,0	—	578,84
4	396,42	—	21,44	—	126,1	—	543,92
5	399,97	—	—	—	126,1	—	526,07
6	431,52	—	—	—	—	—	431,52

Tabela 3
KOSZTY INWESTYCYJNE SYSTEMU USUWANIA ŚCIEKÓW
WG POSZCZEGÓLNYCH WARIANTÓW (mln zł)

Wariant	oczyszcz. ścieków	sieć kan. w miejsc.	sieć kan. łącząca	pompowanie	razem
1	603,86	679,31	—	—	1283,17
2	578,86	679,31	76,07	7,45	1342,24
3	578,94	679,31	39,63	1,15	1299,06
4	543,92	679,31	131,08	9,61	1363,92
5	526,07	679,31	153,03	10,76	1369,17
6	431,52	679,31	196,17	18,90	1325,90

Tabela 4
KOSZTY EKSPLOATACYJNE SYSTEMU OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW
WG POSZCZEGÓLNYCH WARIANTÓW (mln zł)

Wariant	Mosina	Jezioro	Sowiniec	Łódź	Dymaczewo Nowe	Dymaczewo Stare	Razem
1	24,05	2,32	0,80	8,68	0,70	0,92	37,47
2	24,05	2,32	0,80	—	10,30	—	37,47
3	24,38	2,32	—	8,68	1,42	—	37,00
4	24,72	—	0,80	—	10,30	—	35,82
5	25,05	—	—	—	10,30	—	35,35
6	28,06	—	—	—	—	—	28,06

Tabela 5
WARTOŚCI SYNTETYCZNEGO WSKAŹNIKA
EFEKTYWNOŚCI INWESTYCJI

Wariant	E, tys. zł/m ³
1	20,98
2	21,77
3	21,14
4	21,88
5	21,89
6	20,55

równe są wartościom funkcji celu wg równań (1) i (2). Znajomość wartości funkcji celu w poszczególnych wariantach pozwala na znalezienie rozwiązań optymalnych (minimalizacja funkcji celu) dla różnych kryteriów ograniczających. Wyniki tych obliczeń przedstawione są w tabeli 6.

Otrzymane wyniki wskazują, że dla rozpatrywanego obszaru oraz funkcji celu, określonej wielkością nakładów inwestycyjnych (1), optymalne dla większości kryteriów ograniczających jest rozwiązanie polegające na budowie grupowej oczyszczalni ścieków w Mosinie, zwłaszcza przy uwzględnieniu w ograniczeniach przepisów dotyczących ochrony parków narodowych. Analogiczne wyniki (optymalny wariant 6) otrzymano dla funkcji celu określonej wartością syntetycznego wskaźnika efektywności inwestycji (2).

Tabela 6

**OPTYMALNE ROZWIĄZANIA SYSTEMU USUWANIA ŚCIEKÓW
DLA RÓŻNYCH KRYTERIÓW OGRANICZAJĄCYCH**

Kryteria ograniczające, wartość Q_d^*	Warianty możliwe	Warianty optymalne dla funkcji celu	
		(1)	(2)
Podstawowe. Q_d zawsze spełnione dla wszystkich odbiorników	1,2,3, 4,5,6	1	6
Ograniczona ilość ścieków wprowadzanych do jezior Q_{dj} jezior nieograniczone Q_{dr} rzek nieograniczone	2,4,5, 6	6	6
Zabronione wprowadzanie ścieków do jezior $Q_{dj} = 0$ Q_{dr} rzek nieograniczone	4,5,6	6	6
Zabroniona budowa oczyszczalni w WPN $Q_{dj} = 0$ Q_{dr} rzek ograniczone	5,6	6	6

*) Q_d -- maksymalna ilość ścieków odprowadzana z oczyszczalni, określona dopuszczalną chłonnością rzek na zanieczyszczenia i technicznie możliwym stopniem oczyszczania ścieków.

Otrzymane rozwiązanie optymalne (jedna grupowa oczyszczalnia ścieków) nie jest, co wynika z tabeli 3, najtańszym rozwiązaniem inwestycyjnym całego systemu. Koszty te są większe o 42,8 mln złotych od rozwiązania najtańszego (wariant 1). Wartości zestawione w tabeli 3 wskazują także, że można znaleźć rozwiązania droższe od optymalnego, które także spełniają przyjęte ograniczenia. Dla przykładu, transport ścieków z WPN do najbliższych miejscowości (wariant 4 lub 5), który wydaje się najtańszy, w rzeczywistości jest droższy od grupowej oczyszczalni ścieków. Przeprowadzo-

ne obliczenia wykazują także, że jeśli nie ma ograniczeń w chłonności odbiorników (spełnione ograniczenia podstawowe), to optymalne jest indywidualne oczyszczanie ścieków w każdej miejscowości (wariant 1).

Podsumowanie

Przedstawiona w pracy metodyka optymalizacji systemu usuwania i oczyszczania ścieków pokazuje, że decydującą rolę odgrywają tu przyjęte ograniczenia, co zgodne jest z ogólnymi zasadami optymalizacji. Dlatego też bez szczegółowych obliczeń nie można twierdzić, że grupowa oczyszczalnia ścieków jest zawsze korzystniejsza od innych rozwiązań systemu oczyszczania ścieków. Podstawową zasadą wyboru systemu usuwania i oczyszczania ścieków jest zawsze rachunek optymalizacyjny, przyjmujący za funkcję celu wartość syntetycznego wskaźnika efektywności inwestycji lub wielkość nakładów inwestycyjnych.

LITERATURA

1. Katalog orientacyjnych wskaźników jednostkowych nakładów inwestycyjnych w zakresie gospodarki komunalnej, gospodarki mieszkaniowej i budownictwa mieszkaniowego. CTK, Warszawa, 1982.
2. Modelowe wskaźniki kosztów eksploatacji urządzeń wodociagowych i kanalizacyjnych stanowiących uzbrojenie miejskich jednostek osadniczych. IKS, Warszawa, 1983.
3. Z. HEIDRICH: Koszt budowy i eksploatacji oczyszczalni ścieków w konwencjonalnych układach technologicznych. Mat. konf. „Postęp techniczny w dziedzinie oczyszczania ścieków”. PZITS, Katowice, 1984.
4. Projekt kanalizacji sanitarnej dla m. Mosiny. BPBK Poznań, 1984.

CHOICE OF THE SEWAGE TREATMENT SYSTEM

Calculations were carried out to optimize the treatment system for the sewage produced by six localities in the National Park area. Six variants of the treatment system have been adopted (each locality will have its own sewage treatment plant; a group treatment plant will be constructed to meet the needs of the six localities; combinations of variants). The capital cost and the value of the synthetic investment

index have been assumed as the criteria for the choice of the optimum variant. The calculated results gave good support to the concept of erecting a group treatment plant as the optimum variant, despite the investment costs involved. This is because other limiting criteria adopted for this choice make this variant an optimum one. Based on this case study, we may also conclude that it is advisable to perform „optimizing calculations” before the concept of the group treatment plant is selected as the optimum variant for the area of interest.