

Zbigniew Heidrich

ASPEKTY TECHNICZNO-EKONOMICZNE OCZYSZCZANIA WÓD

W pracach projektowych, związanych z uzdatnianiem wody rachunek ekonomiczny sprowadza się do rachunku ekonomicznej efektywności inwestycji, rozumianej jako stosunek efektu gospodarczego, który uzyskuje się dzięki realizacji danej inwestycji, do nakładów poniesionych przy jej tworzeniu (budowie) i eksploatacji. Podstawowym zadaniem rachunku efektywności inwestycji w zakresie stacji uzdatniania wody jest dostarczenie danych do wyboru wariantu rozwiązania technicznego, lokalizacji oraz optymalizacji wielkości i rodzaju urządzeń stacji, przy zadanym z góry efekcie użytkowym, określonym ilością wody i jej jakością. Występują też inne zadania, których rozwiązanie może dostarczyć rachunek ekonomiczny, np. wybór źródła lub źródeł wody i ustalenie zakresu ich wykorzystania, zakres odzysku wody ze ścieków oraz problem zróżnicowania jakości wody dla różnych odbiorców. Te zadania charakteryzują się tym, że stacja uzdatniania wody musi być rozpatrywana nie jako samodzielna inwestycja, lecz jako element systemu wodociągowego lub wodociągowo-kanalizacyjnego, obejmującego określony obszar [1, 2].

Podstawowymi elementami rachunku efektywności inwestycji są: analizy efektu użytkowego, nakładów inwestycyjnych i wskaźników kapitałochłonności, kosztów eksploatacji i wskaźników kosztów jednostkowych oraz wskaźników efektywności inwestycji.

Prowadząc rachunek ekonomiczny i wykorzystując jego wyniki przy ocenie różnych wariantów stacji uzdatniania wody należy mieć na uwadze to, że dostarcza on tylko jednej z przesłanek do decyzji o wyborze danego rozwiązania. Poza tym istnieją przesłanki pozarachunkowe czy nawet pozaekonomiczne, np. znaczenie dostawy wody o odpowiedniej ilości i jakości dla warunków zdrowotnych i komfortu życia ludności [2].

Kapitałochłonność stacji uzdatniania wody

Kapitałochłonność stacji uzdatniania wody zależy od rodzaju źródła wody, stopnia jej zanieczyszczenia, wymaganej wydajności oraz układu technologicznego i zastosowanych rozwią-

zań technicznych. Poniżej przedstawiono wyniki rozważań dotyczących czterech układów technologicznych stacji uzdatniania wody, zasilanych wodą gruntową lub powierzchniową. Przy wykorzystaniu wód gruntowych uwzględniono dwa układy technologiczne, zależne od stopnia zanieczyszczenia wody w źródle, a mianowicie:

- a) stacja uzdatniania wymagająca odżelaziania i dezynfekcji (symbol G1),
- b) stacja wymagająca odżelaziania, odmanganiania i dezynfekcji (symbol G2).

W odniesieniu do obu stacji przeprowadzono rozważania przy założeniu, że zawartość żelaza mieści się w przedziale od 2 do 10 mg Fe/dm³, natomiast wydajność w granicach od 1000 m³/d do 50 000 m³/d. Przeprowadzone obliczenia stały się podstawą do opracowania funkcji pozwalających na określenie wysokości ponoszonych nakładów inwestycyjnych na budowę stacji uzdatniania wody w funkcji ilości uzdatnianej wody oraz zawartości żelaza. Funkcje te można zapisać następująco:

a) dla stacji G 1:
$$J_{G1} = (0,121 - 0,0071 \text{ Fe}) \cdot Q^{0,923 \text{ Fe} + 0,686} \quad (1)$$

b) dla stacji G 2
$$J_{G2} = (0,0801 - 0,003 \text{ Fe}) \cdot Q^{0,0175 \text{ Fe} + 0,786} \quad (2)$$

gdzie:

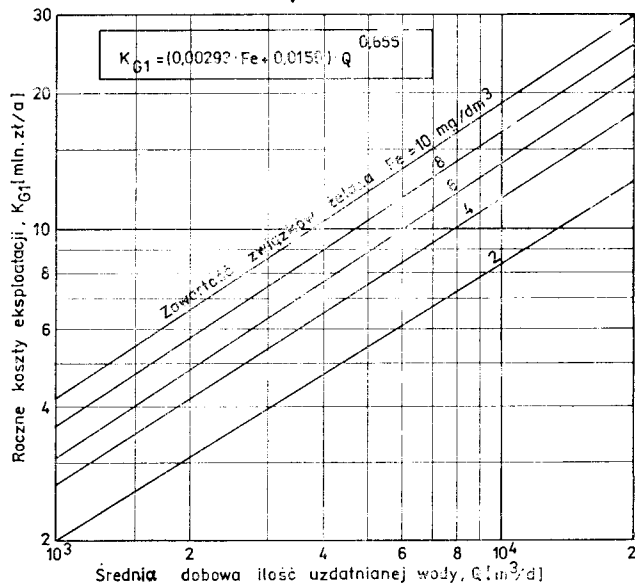
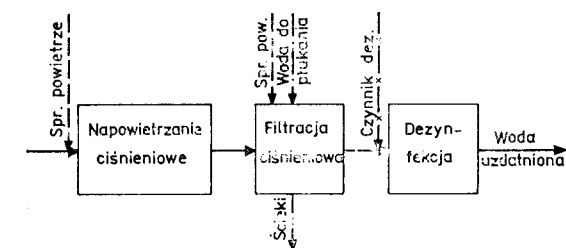
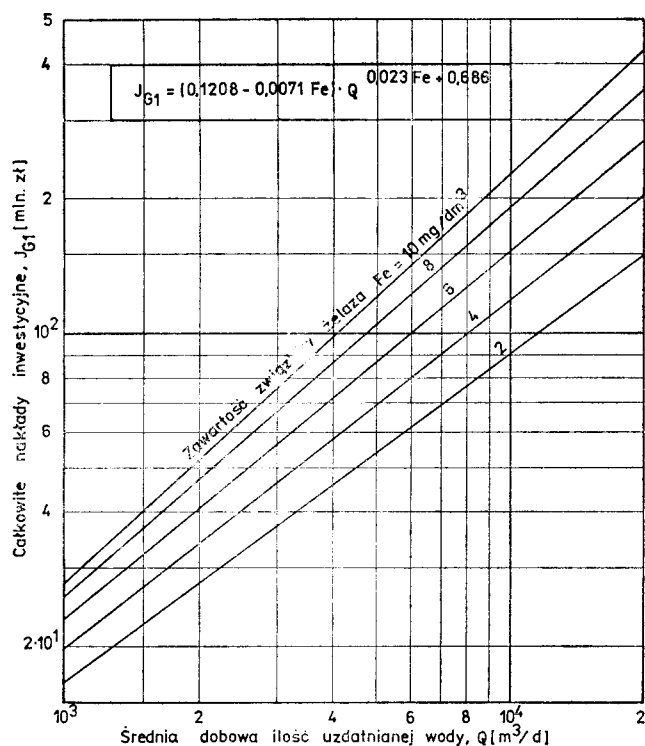
J_{G1} — nominalne nakłady inwestycyjne ponoszone przy budowie stacji, mln zł,
Fe — zawartość związków żelaza w wodzie surowej, mg Fe/dm³,
Q — średnia dobowa wydajność stacji uzdatniania wody, m³/d.

Wykorzystując wzory (1) i (2), na rys. 1 i 2 przedstawiono nomogramy do określania wysokości nakładów inwestycyjnych dla analizowanych stacji uzdatniania wody gruntowej.

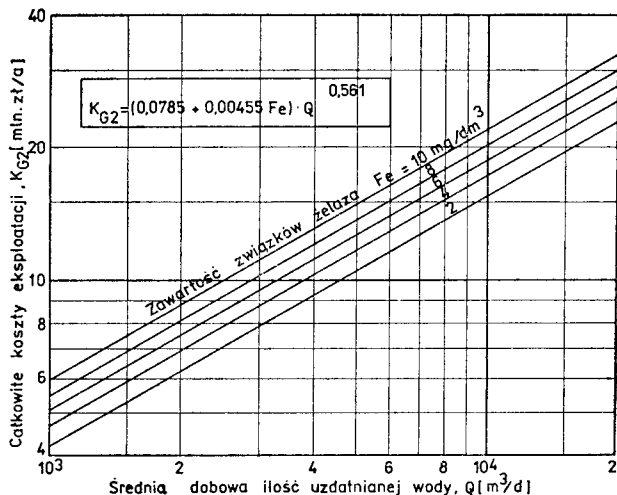
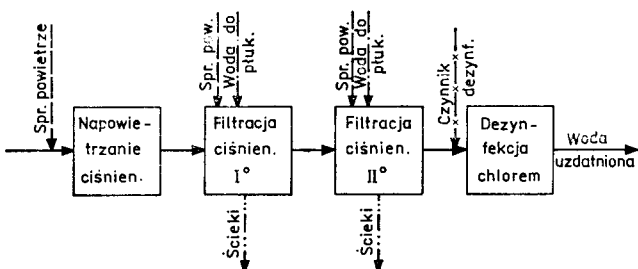
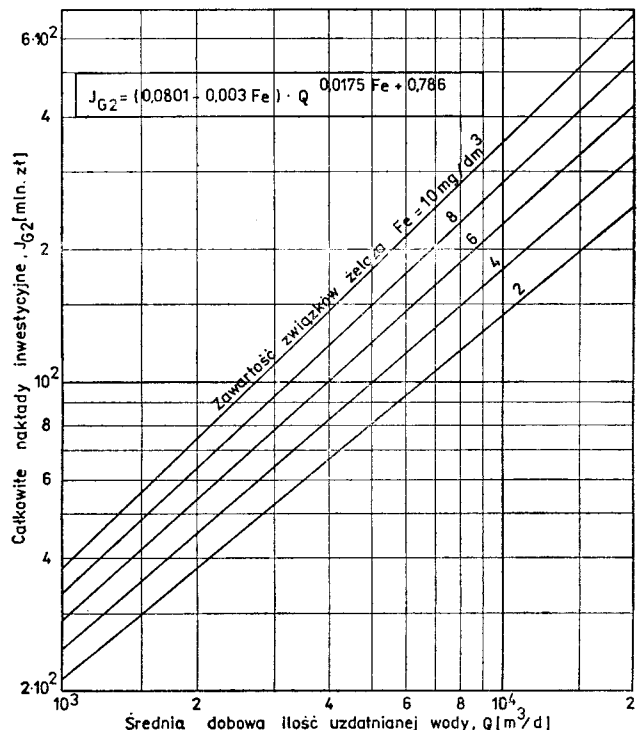
W wypadku uzdatniania wód powierzchniowych analizie poddano również dwa układy technologiczne stacji uzdatniania, a mianowicie:

a) stacja uzdatniania wody bez stosowania koagulacji i obejmująca osadniki wstępne, filtry pospieszne grawitacyjne oraz urządzenia do dezynfekcji wody chlorem (symbol P 1),

b) stacja uzdatniania z zastosowaniem klasycznej koagulacji objętościowej i obejmu-



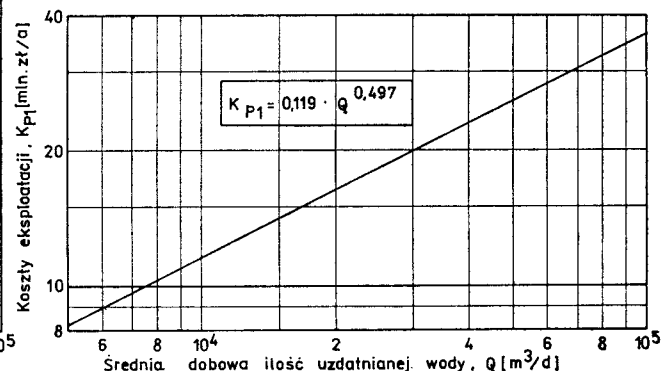
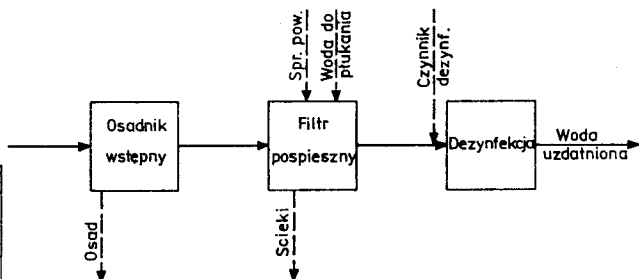
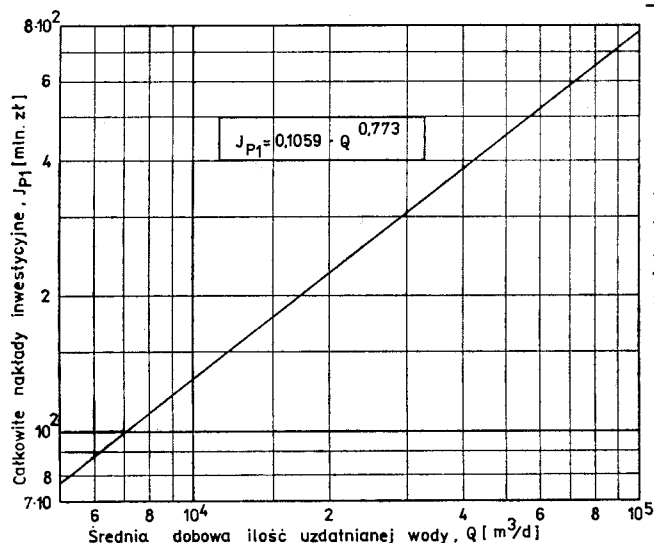
Rys. 1 Nomogram do określania nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji dla stacji uzdatniania wód gruntowych z zastosowaniem jednostopniowej filtracji (poziom cen — 1985 r.)



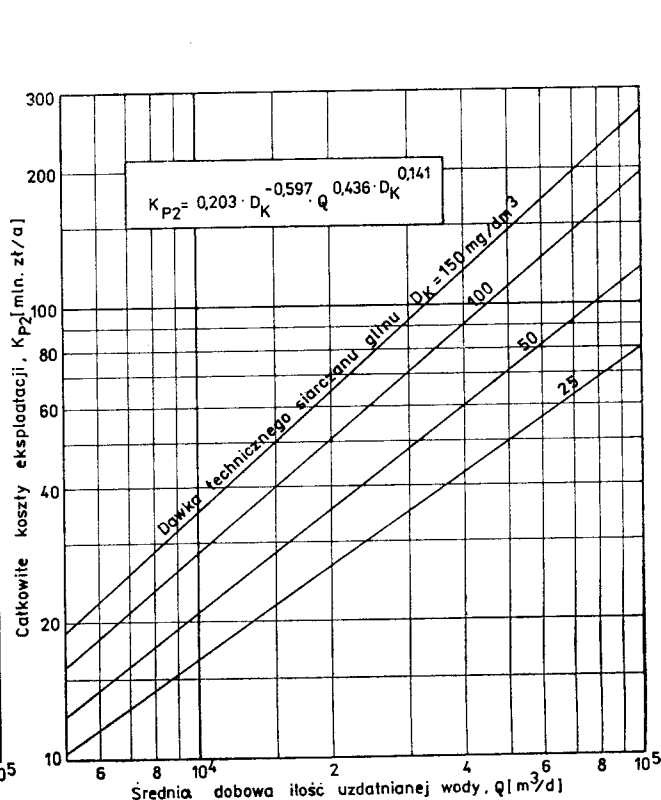
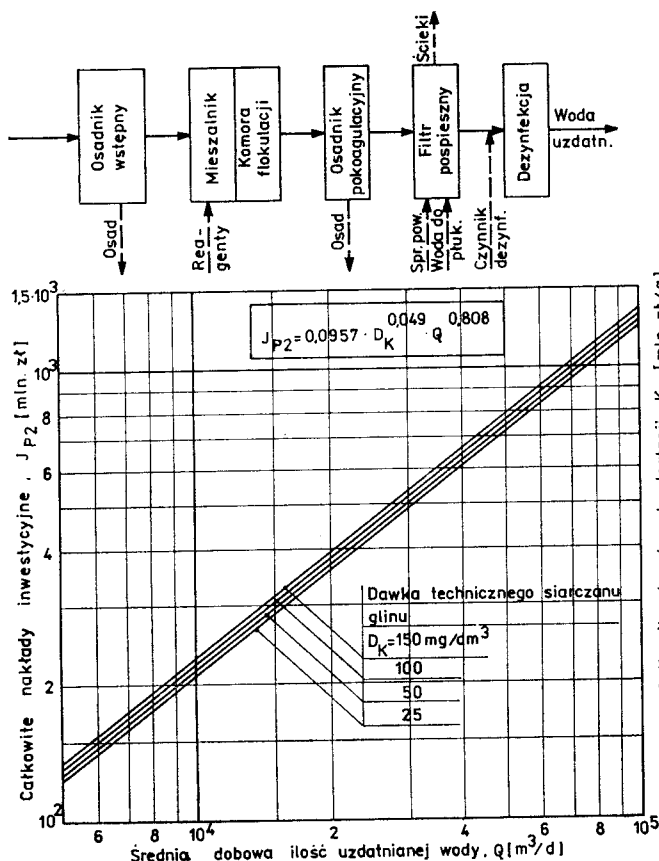
Rys. 2 Nomogram do określania nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji dla stacji uzdatniania wód gruntowych z zastosowaniem dwustopniowej filtracji (poziom cen — 1985 r.)

jąca urządzenia do magazynowania, przygotowania i dawkowania reagentów chemicznych, osadniki wstępne, mieszalniki i komory floculacyjne, osadniki pokoagulacyjne, filtry pospieszne oraz urządzenia do dezynfekcji wody chlorem (symbol P2).

Rozważania techniczno-ekonomiczne dla wymienionych wyżej układów technologicznych prowadzono przy przepustowości od 5000 m³/d do 100 000 m³/d, a w przypadku stacji uzdatniania z zastosowaniem koagulacji objętościowej, ponadto przy średniej dawce koagulantu



Rys. 3 Nomogram do określania nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji dla stacji uzdatniania wód powierzchniowych z zastosowaniem sedymentacji, filtracji i dezynfekcji (poziom cen — 1985 r.)



Rys. 4 Nomogram do określania nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji dla stacji uzdatniania wód powierzchniowych z zastosowaniem sedymentacji wstępnej, koagulacji objętościowej, filtracji i dezynfekcji (poziom cen — 1985 r.)

(siarczaniu glinu) od 25 g/m³ do 150 g/m³, w przeliczeniu na produkt techniczny. Przeprowadzone rozważania pozwoliły na wyznaczenie funkcji do określania wysokości nakładów inwestycyjnych, a mianowicie:

a) dla stacji P1

$$J_{P1} = 0,1059 \cdot Q^{0,773} \quad (3)$$

b) dla stacji P2

$$J_{P2} = 0,0957 \cdot D_k^{0,049} \cdot Q^{0,808} \quad (4)$$

gdzie:

J_{P1} , J_{P2} — nominalne nakłady inwestycyjne ponoszone przy budowie stacji, mln zł,
 Q — średnia dobowa wydajność stacji uzdatniania wody, m³/d,
 D_k — średnia dawka siarczanu glinu w postaci produktu technicznego, mg/dm³.

Nomogramy do wyznaczania wysokości nakładów inwestycyjnych dla stacji P1 i P2 przedstawiono na rys. 3 i 4.

Przy rozpatrywaniu wysokości nakładów inwestycyjnych ponoszonych przy budowie stacji uzdatniania wody, interesująca jest także ich struktura wewnętrzna.

W tabeli 1 zestawiono przeciętną strukturę wewnętrzną rozpatrywanych stacji uzdatniania wód gruntowych i wód powierzchniowych.

Tabela 1

**PRZECIĘTNA STRUKTURA WEWNĘTRZNA NAKŁADÓW
INWESTYCYJNYCH PONOSZONYCH PRZY BUDOWIE STACJI
UZDATNIANIA WODY GRUNTOWEJ I POWIERZCHNIOWEJ**

Elementy nakładów inwestycyjnych	Struktura wewnętrzna nakładów inwestycyjnych, %		
	Stacje G1 i G2	Stacja P1	Stacja P2
Dokumentacja i przygotowanie terenu	17,2	8,1	8,2
Podstawowe obiekty technologiczne	43,3	46,8	53,6
Pomocnicze obiekty technologiczne	24,8	30,5	24,2
Inne	14,7	14,6	14,0
Razem	100,0	100,0	100,0

Koszty eksploatacji stacji uzdatniania wody

Na całkowite koszty eksploatacji stacji uzdatniania wody składają się następujące elementy: koszty energii elektrycznej, koszty materiałów, koszty remontów kapitalnych i bieżących, koszty ogólne i koszty amortyzacji na odtworzenie. Koszty energii elektrycznej w stacjach uzdatniania wody mogą wynikać z zużywania jej na:

- pompowanie wody w celu zapewnienia jej przepływu przez wszystkie urządzenia stacji
- pompowanie wody i sprężanie powietrza w celu płukania filtrów
- pompowanie roztworów reagentów
- poruszanie mechanizmów urządzeń stacji
- pompowanie osadów powstających w stacji.

Tabela 2

**CHARAKTERYSTYKA ENERGETYCZNA WYBRANYCH STACJI
WODOCIĄGOWYCH BAZUJĄCYCH NA WODACH GRUNTOWYCH**

Wyszczególnienie	Stacja wodociągowa			
	Radość	Falenica	Grodzisk Mazowiecki	Błonie
Średnia produkcja wody, m ³ /d	3979	2610	3075	2892
Wielkość mocy zainstalowanej, kW	263,3	232,2	532,2	147,0
Struktura mocy zainstalowanej, %:				
— ujęcie wody	28,5	18,9	21,8	31,3
— stacja uzdatniania wody i pompownia II stopnia	64,7	73,3	71,4	61,2
— inne odbiorniki	6,8	7,8	6,8	7,5
Jednostkowa moc zainstalowana, kW/m ³ d	0,066	0,089	0,173	0,051
Średnie dobowe zużycie energii elektrycznej, kWh/d	1675	1115	2860	16589
Wskaźnik energochłonności, kWh/m ³	0,42	0,43	1,07	0,58

Tabela 3

**CHARAKTERYSTYKA ENERGETYCZNA WARSZAWSKICH STACJI
WODOCIĄGOWYCH**

Wyszczególnienie	Stacje wodociągowe	
	Wodociąg Centralny (r. 1981)	Wodociąg Praski (r. 1983)
Średnia dobowa produkcja wody, m ³ /d	420 503	240 068
Wielkość mocy zainstalowanej, kW	23 275	8 730
Struktura mocy zainstalowanej, %:		
— ujęcie wody	43,9	41,5
— stacja uzdatniania z chlorownią	11,6	3,3
— pompownia II stopnia	41,6	53,0
— inne odbiorniki	2,9	2,2
Jednostkowa moc zainstalowana, kW/m ³ d	0,0554	0,0364
Średnie dobowe zużycie energii elektrycznej, kWh/d	202 501	83 687
Wskaźnik energochłonności kWh/m ³	0,475	0,35

O kosztach energii elektrycznej decyduje wielkość mocy zainstalowanej, czas pracy urządzeń oraz zużycie energii elektrycznej. Przykładowe dane charakteryzujące zużycie energii elektrycznej w stacjach uzdatniania wody gruntowej podano w tabeli 2, zaś dla innych stacji wodociągowych w tabeli 3. Przy ustalaniu kosztów energii zużywanej w stacji uzdatniania wody należy rozważyć, w jakim stopniu należy obciążyć analizowaną stację zużyciem energii przez pompownie wodociągowe zlokalizowane na terenie stacji. Często mogą one być wyłączone z analizy ekonomicznej samej stacji uzdatniania wody.

Koszty materiałów składają się przede wszystkim z kosztów reagentów stosowanych przy uzdatnianiu wody (koagulantu, chloru, wapna itp.).

W skład płac wchodzi płace (wraz z narzutami) robotników zatrudnionych bezpośrednio

przy eksploatacji stacji uzdatniania wody. Nie uwzględnia się przy tym pięć pracowników pozostałych (inżynieryjno-technicznych, obsługi itp.), gdyż ich płace wliczane są do kosztów ogólnych. Orientacyjną liczbę robotników można przyjmować wg [2], przy czym zaleca się przyjmowanie rezerwy w wysokości 30%.

Koszty remontów kapitalnych i bieżących zaleca się przyjmować w wysokości 3—3,5% nominalnych nakładów inwestycyjnych.

Koszty ogólne obejmują koszty wydziałowe i ogólnozakładowe, których suma stanowi zazwyczaj 15—40% kosztów bezpośrednich (suma kosztów energii, materiałów, płac i remontów), przy czym niższy udział dotyczy dużych, a wyższy — małych przedsiębiorstw.

Wysokość kosztów z tytułu amortyzacji na odtworzenie ustala się na podstawie normatywnych stawek amortyzacyjnych, stanowiących określone procenty nakładów inwestycyjnych. Stawki te są zróżnicowane dla poszczególnych obiektów i urządzeń. W orientacyjnych obliczeniach można przyjąć, że dla całej stacji uzdatniania wody roczna amortyzacja wynosi 3—4% nakładów inwestycyjnych [2].

Rozważania prowadzone dla opisanych uprzednio stacji uzdatniania wody gruntowej i powierzchniowej pozwoliły na ustalenie zależności funkcyjnych do określania wysokości rocznych kosztów eksploatacji. Zależności te można zapisać następującymi wzorami:

a) dla stacji uzdatniania wód gruntowych:

— z zastosowaniem odżelaziania i dezynfekcji

$$K_{G1} = (0,00293 \text{ Fe} + 0,0159) \cdot Q^{0,655} \quad (5)$$

— z zastosowaniem odżelaziania, odmanganiania i dezynfekcji

$$K_{G2} = (0,0785 + 0,00455 \text{ Fe}) \cdot Q^{0,561} \quad (6)$$

b) dla stacji uzdatniania wód powierzchniowych:

— bez stosowania koagulacji

$$K_{P1} = 0,119 \cdot Q^{0,497} \quad (7)$$

— z zastosowaniem klasycznej koagulacji objętościowej

$$K_{P2} = 0,203 \cdot D_k^{-0,597} \cdot Q^{0,436 \cdot b} \quad (8)$$

$$b = D_k^{0,141}$$

gdzie:

K_{G1} , K_{G2} , K_{P1} , K_{P2} w mln zł/a,
 Q — średnia dobowo wydajność stacji uzdatniania wody, m³/d,
 Fe — zawartość związków żelaza w wodzie surowej mg/dm³
 D_k — średnia dawka siarczanu glinu w postaci produktu technicznego, mg/dm³.

Nomogramy do wyznaczania całkowitych kosztów eksploatacji dla rozpatrywanych stacji uzdatniania wody gruntowej i powierzchniowej przedstawiono na rys. 1, 2, 3 i 4. Przeprowadzone obliczenia kosztów eksploatacji pozwoliły na określenie ich procentowej struktury, co przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4
 PROCENTOWA STRUKTURA KOSZTÓW EKSPLOATACJI STACJI
 UZDATNIANIA WODY GRUNTOWEJ I POWIERZCHNIOWEJ

Elementy kosztów eksploatacji	Stacja uzdatniania wody gruntowej	Stacja uzdatniania wody powierzchniowej	
		bez koagulacji	z koagulacją
Koszty materiałów	1,1— 4,6	1,6— 7,4	18,0—40,6
Koszty energii elektrycznej	3,2—15,1	4,8—22,6	4,2— 9,4
Płace pracowników	29,0—10,9	30,6—17,2	20,7— 4,9
Koszty remontów	22,3—27,8	24,3—20,5	20,0—14,5
Koszty ogólne	22,3—14,0	18,4—15,2	18,9—17,3
Koszty amortyzacji	22,1—27,6	20,3—17,1	18,2—13,3

Ekonomiczna efektywność stacji uzdatniania wody

Przy projektowaniu stacji uzdatniania wody najczęściej rozważane są warianty, które charakteryzują się tym samym efektem ilościowym wyrażonym ilością uzdatnianej wody, przy takim samym efekcie jakościowym wyrażonym wymaganą jakością wody. Zazwyczaj też każdy z rozpatrywanych wariantów zawiera rozwiązanie o jednakowym docelowym okresie eksploatacji. Różnice pomiędzy wariantami polegają głównie na projektowaniu różnych sposobów uzdatniania wody lub różnych typów urządzeń. Bardziej złożonym zadaniem jest porównanie wariantów bazujących na różnych źródłach wody i związanych z tym różnych lokalizacjach stacji uzdatniania wody w poszczególnych wariantach. W tych przypadkach zakresem analizy ekonomicznej efektywności inwestycji muszą być objęte oprócz stacji uzdatniania wody również ujęcia i urządzenia do transportu wody.

Konsekwencje wynikające z różnic między wariantami mogą być określone za pomocą wskaźnika ekonomicznej efektywności. Według obowiązujących w kraju zaleceń [1] wartość wskaźnika ekonomicznej efektywności może być wyznaczona za pomocą formuły uproszczonej, którą można przedstawić następująco:

$$E = \frac{\alpha \cdot J (r+s) + \beta \cdot K}{365 \cdot Q} \quad (9)$$

gdzie:

E — wskaźnik ekonomicznej efektywności, zł/m³,
 α — współczynnik uwzględniający zamrożenie nakładów w czasie budowy i czas jej trwania; orientacyjnie $\alpha=1,12$,
 J — nominalne nakłady inwestycyjne, określone ze wzorów od (1) do (4), zł,
 r — stopa dyskontowa; $r=0,08a^{-1}$,
 s — średnia stawka amortyzacyjna wyrażona jako część nakładów inwestycyjnych; $s=0,037 \div 0,04 a^{-1}$,
 K — całkowite roczne koszty eksploatacji, zł/a,
 β — współczynnik uwzględniający obniżenie kosztów eksploatacji ze względu na uwzględ-

dnienie amortyzacji w innym członie wzoru;

— dla stacji uzdatniania wód gruntowych $\beta=0,75$,

— dla stacji uzdatniania wód powierzchniowych bez koagulacji $\beta=0,81$,

— dla stacji uzdatniania wód powierzchniowych z koagulacją $\beta=0,85$,

Q — średnia dobowo wydajność stacji uzdatniania wody, m^3/d .

Spośród rozpatrywanych wariantów stacji uzdatniania wody najkorzystniejszy pod względem ekonomicznym jest ten, który charakteryzuje się najmniejszą wartością wskaźnika ekonomicznej efektywności. Przy analizie ekonomicznej efektywności wariantów rozwiązania stacji uzdatniania wody należy mieć na uwadze to, że kryterium ekonomiczne wyrażone wartością wskaźnika E może być jedną z przesłanek do wyboru najbardziej racjonalnego rozwiązania. Należy przy tym uwzględnić czynniki pozarachunkowe, takie jak pewność dostawy wody w wymaganej ilości i o odpowiedniej jakości, pewność uzyskania stałego wymaganego efektu uzdatniania wody oraz potencjalne możliwości zakażenia źródła wody.

Z. Heidrich

Technological and economic aspects of water treatment

Economic consideration involved in the design of water treatment systems are generally reduced to the

Wnioski

1. Zagadnienia techniczno-ekonomiczne związane z oczyszczaniem wody są zagadnieniami bardzo złożonymi, wymagającymi prowadzenia kompleksowych analiz. Prowadzenie ich jest niezbędne przy wyborze źródła systemu wodociągowego oraz przy wyborze rozwiązania technologiczno-technicznego stacji uzdatniania wody. Analiza taka powinna obejmować ocenę nakładów inwestycyjnych, kosztów eksploatacji oraz wskaźników ekonomicznej efektywności, jak również określenie niezawodności dostawy wody w aspekcie ilościowo-jakościowym.

2. Przedstawione wyniki rozważań dotyczą wybranych układów technologicznych stacji uzdatniania wody gruntowej i powierzchniowej. Propozycje te mogą być wykorzystywane na etapie prac planistycznych bądź opracowań koncepcyjnych.

LITERATURA

1. Ocena ekonomicznej efektywności inwestycji. Zbiór przepisów. PWE. Warszawa 1975 r.
2. Z. PŁASKOWSKI, M. ROMAN: Konstrukcje budowlane stacji uzdatniania wody. Arkady. Warszawa 1979.

effectiveness and worthwhileness of the investment. The considerations presented in this paper deal with four technological systems for water treatment plants with groundwater and surface water feed. Given are nomograms for determining the expenditure required, and some relations for establishing the running costs. The relations discussed in this paper may be of utility to both planning and design.