

dr inż. Zbigniew Heidrich

Instytut Zoopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego
Politechniki Warszawskiej

EKONOMICZNA EFEKTYWNOŚĆ MIEJSKICH SIECI KANALIZACYJNYCH — METODYKA OCENY I WSKAŹNIKI TECHNICZNO-EKONOMICZNE

Badania ekonomicznej efektywności miejskich sieci kanalizacyjnych jest jednym z elementów analizy ekonomicznej, obejmującej miejskie systemy wodociągowo-kanalizacyjne. Zagadnienie to jest niezbyt szczegółowo dotychczas rozpoznane, a jego znajomość jest niezbędna w aspekcie budowy lub rozbudowy systemów kanalizacyjnych w miastach.

Rachunek ekonomicznej efektywności powinien obejmować z jednej strony wysokość nakładów inwestycyjnych, a z drugiej strony wysokość kosztów eksploatacji. Podsumowaniem rachunków cząstkowych powinien być wskaźnik ekonomicznej efektywności inwestycji, który zgodnie z zaleceniami Komisji Planowania przy Radzie Ministrów może być obliczany według formuły uproszczonej [1].

Określenie formuły do wyznaczania wskaźnika ekonomicznej efektywności miejskich sieci kanalizacyjnych wymaga ustalenia następujących danych podstawowych:

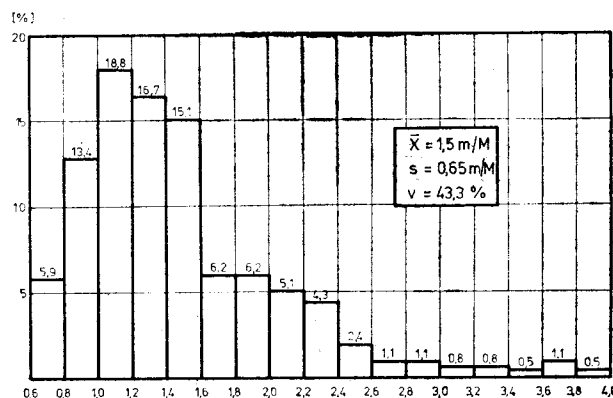
- długości sieci kanalizacyjnej lub jej gęstości i obszaru objętego zasięgiem działania sieci kanalizacyjnej,
- wymiarów sieci, tzn. długości przewodów kanalizacyjnych poszczególnych średnic,
- zagłębienia przewodów,
- kosztów budowy przewodów kanalizacyjnych przy stosowaniu różnych materiałów, średnic i zagłębień,
- kosztów eksploatacji sieci kanalizacyjnych ze szczególnym uwzględnieniem kosztów czyszczenia.

Poniżej przedstawiono wszystkie wymienione wyżej zagadnienia, przy czym ograniczono się do rozważań na temat kanalizacji sanitarnej w systemie rozdzielczym.

Długość i gęstość sieci kanalizacyjnej

Do oceny długości i gęstości sieci kanalizacyjnej wykorzystano dane z 445 miast polskich publikowanych w wojewódzkich rocznikach statystycznych. Analizowane miasta zamieszkiwane są przez 18 877 400 mieszkańców, przy czym z sieci kanalizacyjnej korzysta 15 501 800 mieszkańców. Z porównania tych danych wynika, że średni procent ludności korzystającej z sieci kanalizacyjnej wynosi ok. 82%. Są jednak miasta, w których wynosi on zaledwie 15%, ale są też takie, gdzie wynosi on ponad

90%. Znaczne zróżnicowanie procentu ludności korzystającej z miejskiej sieci kanalizacyjnej stało się podstawą do pierwszej weryfikacji danych wyjściowych. Odrzucono bowiem te miasta, w których liczba mieszkańców korzystających z sieci kanalizacyjnej była mniejsza niż 50%. W ten sposób ograniczono liczbę badanych miast do 391, w których liczba mieszkańców korzystających z sieci kanalizacyjnej waha się w przedziale od 500 do 1 431 600, a jednostkowa długość sieci kanalizacyjnej w przedziale od 0,62 m/M do 16,57 m/M. Ta duża rozbieżność jednostkowej długości sieci kanalizacyjnej była przyczyną ponownej weryfikacji danych wyjściowych, a mianowicie odrzucono ze zbioru danych te miasta, w których jednostkowa długość sieci kanalizacyjnej jest większa od 4 m/M. Po drugiej weryfikacji danych liczba analizowanych miast i przypisanej im jednostkowej długości sieci kanalizacyjnej wyniosła 372. Na rys. 1 przedstawiono rozkład jednostkowej długości sieci kanalizacyjnej. Badanie zebranych wielkości wykazało, że średnia jednostkowa długość sieci kanalizacyjnej wynosi $\bar{x} = 1,5$ m/M, przy odchyleniu standardowym $s = 0,65$ m/M.



Rys. 1 Rozkład jednostkowej długości sieci kanalizacyjnej dla 372 miast przy $l_M \leq 4$ m/M

Analiza związku pomiędzy jednostkową długością sieci kanalizacyjnej a liczbą mieszkańców korzystających z tej sieci pozwoliła na ustalenie zależności wyrażonej wzorem:

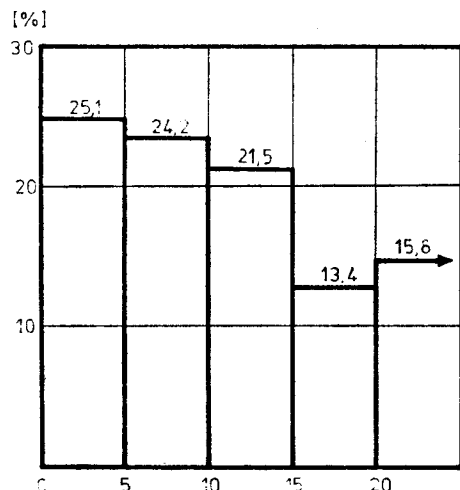
$$l_M = 7,465 \cdot M^{-0,1742} \quad (1)$$

gdzie:

l_M — jednostkowa długość sieci kanalizacyjnej, m/M,
 M — liczba mieszkańców korzystających z sieci kanalizacyjnej.

Zależność opisaną równaniem (1) uzyskano przy współczynniku korelacji — 0,605. Badanie istoty współczynnika korelacji przy użyciu testu „t” wykazało, że korelacja nie jest przypadkowa.

Badanie gęstości sieci kanalizacyjnej prowadzono dla 418 miast, w których wynosi ona od 0,31 m/ha do 75 m/ha. Rozkład gęstości sieci kanalizacyjnej przedstawiono w formie histogramu na rys. 2.



Rys. 2 Rozkład gęstości sieci kanalizacyjnej

Z rozkładu tego wynika, że w ponad 70% miast gęstość sieci kanalizacyjnej nie przekracza 15 m/ha. Podjęta próba badania zależności pomiędzy gęstością sieci kanalizacyjnej i wielkością miasta wyrażoną liczbą mieszkańców lub powierzchnią dała wynik negatywny, tzn. brak jest zależności funkcyjnej pomiędzy tymi wielkościami. Można sądzić, że przyczyną takiego stanu jest to, że gęstość sieci odniesiono do powierzchni brutto rozpatrywanych miast, a nie do powierzchni objętej działaniem miejskiej sieci kanalizacyjnej. Ustalenie tej ostatniej wielkości nie było jednakże możliwe.

Charakterystyczne równoważne średnice sieci kanalizacyjnej

Pod pojęciem równoważnych średnic sieci kanalizacyjnej należy rozumieć średnice zastępcze charakteryzujące wymiary sieci kanalizacyjnych w aspekcie stosowanych średnic przewodów i ich struktury. Średnice równoważne mogą być wyznaczone w funkcji liczby mieszkańców obsługiwanych przez sieć kanalizacyjną lub w funkcji ilości odprowadzanych ścieków. Można przy tym posługiwać się następującymi średnicami równoważnymi:

- średnica równoważna ze względu na objętość sieci kanalizacyjnej, tzw. średnica objętościowa,
- średnica równoważna ze względu na powierzchnię sieci kanalizacyjnej, tzw. średnica powierzchniowa,
- średnica równoważna ze względu na koszty budowy sieci kanalizacyjnej, tzw. średnica kosztowa.

Średnice objętościowa i powierzchniowa mogą być wyrażone następującymi wzorami:

$$d_{rv} = \sqrt{d_1^2 \frac{L_1}{L} + d_2^2 \frac{L_2}{L} + \dots + d_n^2 \frac{L_n}{L}} \quad (2)$$

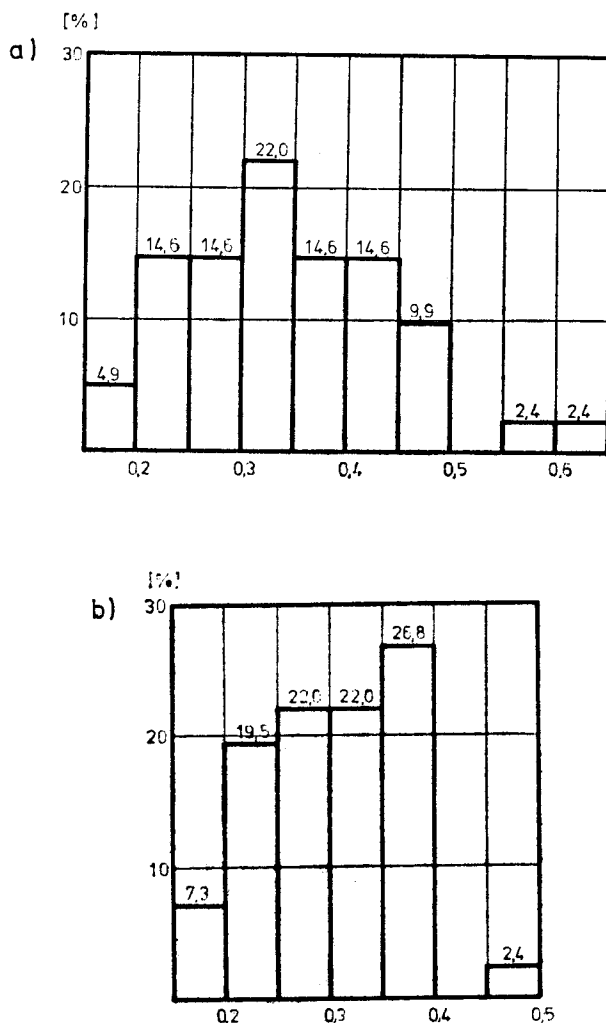
$$d_{rf} = d_1 \frac{L_1}{L} + d_2 \frac{L_2}{L} + \dots + d_n \frac{L_n}{L} \quad (3)$$

gdzie:

d_{rv} , d_{rf} — równoważne średnice sieci kanalizacyjnej, odpowiednio ze względu na objętość sieci i jej powierzchnię, m,
 L_1 , L_2 , ..., L_n — długości odcinków sieci kanalizacyjnej o średnicach odpowiednio d_1 , d_2 , ..., d_n , m,
 n — liczba odcinków sieci kanalizacyjnej o średnicach odpowiednio d_1 , d_2 , ..., d_n .

Dla określenia zależności funkcyjnych, pomiędzy wielkościami średnic równoważnych i liczbą mieszkańców korzystających z miejskich sieci kanalizacyjnych, wykorzystano dane zebrane z ponad 40 miast o liczbie mieszkańców od 1500 do 177 900.

Rozkład wartości średnic równoważnych d_{rv} i d_{rf} przedstawiono w postaci histogramu na rys. 3.



Rys. 3 Rozkłady wartości średnic równoważnych a) ze względu na objętość sieci kanalizacyjnej, b) ze względu na powierzchnię sieci kanalizacyjnej

Przy wyznaczaniu średnic równoważnych sieci kanalizacyjnej można się posługiwać następującymi wzorami:

$$d_{rv} = 0,0862 M^{0,139} \quad (4)$$

$$d_{rf} = 0,137 M^{0,0795} \quad (5)$$

gdzie: d_{rv} i d_{rf} w m.

Zależność (4) uzyskano przy współczynniku korelacji — 0,568, a zależność (5) przy współczynniku — 0,423. Badanie istotności współczynnika korelacji wykazało, że korelacja nie jest przypadkowa.

Porównanie wzorów (4) i (5) pozwala na wyznaczanie związku pomiędzy analizowanymi średnicami równoważnymi w funkcji liczby mieszkańców:

$$d_{rf} = 1,59 d_{rv} M^{-0,0595} \quad (6)$$

gdzie: d_{rf} i d_{rv} w m.

Koszty budowy miejskich sieci kanalizacyjnych

Koszty budowy miejskich sieci kanalizacyjnych zależą od szeregu czynników. Oprócz długości sieci, decydują takie czynniki jak średnica przewodów, zagłębienie, materiał oraz warunki hydrogeologiczne.

Ogólnie można podać, że koszt budowy 1 m przewodu kanalizacyjnego wyrażony jest następującym wzorem [1, 2]:

$$K_k = \beta(A_0 + A_1 d + A_2 H)^2 \quad (7)$$

gdzie:

K_k — koszt budowy 1 m kanału, zł/m,
 β — kompleksowy mnożnik uwzględniający wpływ warunków lokalnych (stopień nawodnienia i zainwestowania terenu) oraz rodzaj materiału, z którego budowany jest kanał,
 A_0, A_1, A_2 — liczbowe współczynniki uwzględniające warunki technologiczne i strukturę cen jednostkowych poszczególnych procesów związanych z wykonaniem kanału,
 d — średnica przewodu kanalizacyjnego, m,
 H — zagłębienie przewodu, m.

Według Usakiewicza [2] współczynnik β można wyrazić wzorem:

$$\beta = (a \sqrt{d} + b \sqrt{H} + c)^{-1} \quad (8)$$

gdzie:

a, b, c — współczynniki, których wartości podano w pracy [2].

Biorąc pod uwagę poziom cen obowiązujących od stycznia 1982 r. koszt budowy 1 m przewodu kanalizacyjnego można wyrazić wzorem:

$$K_k = 3,09 \beta (28 + 37d + 4H)^2 \quad (9)$$

gdzie: wszystkie oznaczenia i jednostki jak poprzednio.

Wzór (9) można aproksymować do postaci:

$$K_k = Ad^2 + Bd + C \quad (10)$$

gdzie:

K_k w m, d w m,
 A, B, C — współczynniki zależne od rodzaju materiału, warunków gruntowych i za-

głębienia przewodu, których wartości dla przewodów wykonanych z rur kamionkowych, żelbetowych i WIPRO zestawiono w tabelach 1, 2 i 3.

Tabela 1

WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW DO WZORU (10)
DLA RUR KAMIONKOWYCH O ŚREDNICACH 0,20—0,60 m

Warunki gruntowe	Zagłębienie kanału (m)	Wartości współczynników do wzoru (10)		
		A	B	C
Grunt suchy	3,0	10756	8035	8290
	4,0	10697	8540	10904
	6,0	8625	9568	17834
	8,0	7129	10318	25932
	10,0	9235	7191	36164
Grunt średnio nawodniony	3,0	8618	16392	12499
	4,0	7109	18885	14750
	6,0	7168	21137	20355
	8,0	8470	23325	26905
	10,0	8384	24076	34343
Grunt silnie nawodniony	3,0	7105	19261	13621
	4,0	8567	19573	16482
	6,0	9208	21762	22622
	8,0	9830	23138	29958
	10,0	10510	24514	38107

Tabela 2

WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW DO WZORU (10)
DLA RUR ŻELBETOWYCH O ŚREDNICACH 0,4—1,5 m

Warunki gruntowe	Zagłębienie kanału (m)	Wartości współczynników do wzoru (10)		
		A	B	C
Grunt suchy	3,0	4426	15128	9082
	4,0	4892	15779	11522
	6,0	4849	18645	16529
	8,0	5024	20975	22797
	10,0	5456	25761	29090
Grunt średnio nawodniony	3,0	8477	19760	10776
	4,0	8137	21328	12803
	6,0	7830	24181	17175
	8,0	7598	26819	22230
	10,0	7313	29516	27922
Grunt silnie nawodniony	3,0	8449	20915	12348
	4,0	8348	22029	14686
	6,0	7867	25231	19261
	8,0	7680	27550	24883
	10,0	7401	29895	31205

Tabela 3

WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW DO WZORU (10)
DLA RUR WIPRO O ŚREDNICACH 0,20—2,00 m

Warunki gruntowe	Zagłębienie kanału (m)	Wartości współczynników do wzoru (10)		
		A	B	C
Grunt suchy	3,0	5080	16225	9998
	4,0	5150	17552	12284
	6,0	5173	20145	17494
	8,0	5298	22617	23654
	10,0	5280	25073	30853
Grunt średnio nawodniony	3,0	6084	20704	13145
	4,0	5999	21622	15545
	6,0	5948	23340	20829
	8,0	5890	25897	26772
	10,0	5901	28885	32238
Grunt silnie nawodniony	3,0	6612	23088	16158
	4,0	6498	24030	18922
	6,0	6407	25700	25034
	8,0	5968	28033	31661
	10,0	5539	28913	39381

Średnicę występującą w dotychczasowych wzorach można uznać za średnicę równoważną ze względu na koszty budowy miejskiej sieci kanalizacyjnej i wówczas koszt przeciętny budowy 1 m sieci kanalizacyjnej można zapisać wzorem:

$$a_{sr} = Ad_{rk}^2 + Bd_{rk} + C \quad (11)$$

gdzie:

a_{sr} — średni koszt budowy 1 m sieci kanalizacyjnej realizowanej w określonych warunkach, zł/m,

d_{rk} — średnica równoważna miejskiej sieci kanalizacyjnej ze względu na koszty budowy, m,

A, B, C — współczynniki jak we wzorze (10).

Przy znanej długości sieci kanalizacyjnej oraz znanej strukturze tej sieci ze względu na występujące średnice przewodów, ogólne nakłady inwestycyjne ponoszone przy budowie sieci można określić z równania:

$$a_{sr} L = a_1 L_1 + a_2 L_2 + \dots + a_n L_n \quad (12)$$

gdzie:

a_{sr} — w zł/m

L — całkowita długość miejskiej sieci kanalizacyjnej bez przykanalików, m

$a_1, a_2, \dots, a_n$ — jednostkowe koszty budowy przewodów kanalizacyjnych odpowiednio o średnicach $d_1, d_2, \dots, d_n$ i odpowiadających im długościach $L_1, L_2, \dots, L_n$, zł/m.

Wzór (12) jest słuszny tylko w wypadku stałego zagłębienia przewodów kanalizacyjnych. Ponieważ zagłębienie przewodów jest zmienne, to dla prawidłowej oceny nakładów inwestycyjnych konieczne jest wprowadzenie średniego ważonego zagłębienia przewodów obliczonego z wzoru:

$$H_{sr} = \frac{L_{H1}H_1 + L_{H2}H_2 + \dots + L_{Hn}H_n}{L_{H1} + L_{H2} + \dots + L_{Hn}} \quad (13)$$

gdzie:

H_{sr} — średnie zagłębienie przewodów miejskiej sieci kanalizacyjnej, m

$L_{H1}, L_{H2}, \dots, L_{Hn}$ — odcinki sieci kanalizacyjnej o zagłębieniach $H_1, H_2, \dots, H_n$, m.

Dzieląc obie strony równania (12) przez L, oraz uwzględniając w nim równanie (11), średni koszt budowy 1 m sieci kanalizacyjnej można zapisać równaniem:

$$Ad_{rk}^2 + Bd_{rk} + C = A \left(d_1^2 \frac{L_1}{L} + d_2^2 \frac{L_2}{L} + \dots + d_n^2 \frac{L_n}{L} \right) + B \left(d_1 \frac{L_1}{L} + d_2 \frac{L_2}{L} + \dots + d_n \frac{L_n}{L} \right) + C \quad (14)$$

Pierwszy nawias występujący z prawej strony równania wyraża kwadrat średnicy równoważnej d_{rv} , zaś drugi nawias — średnicę równoważną d_{rf} , a więc ostatecznie równanie (14) można zapisać w postaci:

$$Ad_{rk}^2 + Bd_{rk} = Ad_{rv}^2 + Bd_{rf} \quad (15)$$

Rozwiązując równanie (15) względem d_{rk} można otrzymać równanie ogólne pozwalające na wy-

znaczenie średnicy sieci kanalizacyjnej ze względu na koszty budowy:

$$d_{rk} = \sqrt{d_{rv}^2 + \gamma d_{rf} + 0,25\gamma^2} - 0,5\gamma \quad (16)$$

gdzie:

d_{rk}, d_{rv}, d_{rf} — w m

$\gamma = B/A$, a wartości tego współczynnika podano w tab. 4.

Tabela 4
WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA γ WYSTĘPUJĄCE WE WZORZE (16)

Rodzaj materiału	Średnie zagłębienie sieci kanalizac. H_{sr} (m)	Wartości współczynnika γ do wzoru (16)		
		grunt suchy	grunt średnio nawodn.	grunt silnie nawodn.
Rury WIPRO	3,0	3,194	3,403	3,491
	4,0	3,408	3,604	3,698
	6,0	3,894	3,924	4,011
	8,0	4,271	4,397	4,697
	10,0	4,749	4,895	5,229
Rury kamionkowe	3,0	0,747	1,902	2,711
	4,0	0,796	2,656	2,284
	6,0	1,109	2,949	2,363
	8,0	1,447	2,754	2,354
	10,0	0,779	2,872	2,332
Rury żelbetowe	3,0	3,418	2,331	2,475
	4,0	3,225	2,621	2,639
	6,0	3,845	3,088	3,207
	8,0	4,175	3,530	3,587
	10,0	4,722	4,036	4,039

Uwzględniając we wzorze (16), wzory określające średnice równoważne d_{rv} i d_{rf} , przybiera on ostateczną postać w formie:

$$d_{rk} = \sqrt{0,00709M^{0,278} + 0,137\gamma M^{0,0795} + 0,25\gamma^2} - 0,5\gamma \quad (17)$$

gdzie:

d_{rk} w m, γ — według tabeli 4

M — liczba mieszkańców korzystających z miejskiej sieci kanalizacyjnej.

Ostatecznie można podać, że nakłady inwestycyjne ponoszone przy budowie miejskiej sieci kanalizacyjnej ustalone przy znanym średnim zagłębieniu przewodów wyrażone będą wzorem:

$$J = 7,465M^{0,8258} (Ad_{rk}^2 + Bd_{rk} + C) \quad (18)$$

gdzie:

J — nakłady inwestycyjne ponoszone przy budowie miejskiej sieci kanalizacyjnej przy ustalonym średnim zagłębieniu przewodów, zł

d_{rk} — według wzoru (17)

A, B, C — według danych zawartych w tabelach 1, 2, 3.

Koszty eksploatacji miejskich sieci kanalizacyjnych

Koszty eksploatacji miejskich sieci kanalizacyjnych analizowano na podstawie danych zebranych z ponad 40 miast polskich, przy czym dane te dotyczyły łącznych kosztów eksploatacji oraz kosztów czyszczenia kanałów przy znanej długości sieci oraz znanej średniej dobowej ilości odprowadzanych ścieków.

Analiza jednostkowych kosztów eksploatacji w funkcji długości sieci kanalizacyjnej pozwoliła na stwierdzenie, że związek ten można zapisać wzorem:

$$k = 614 L^{-0,479} \quad (19)$$

gdzie:

k — całkowite jednostkowe koszty eksploatacji sieci kanalizacyjnej, zł/m·a
 L — całkowita długość miejskiej sieci kanalizacyjnej z pominięciem przykanalików, km.

Zależność określona wzorem (19) uzyskano przy współczynniku korelacji — 0,595. Badanie istotności współczynnika korelacji przy użyciu testu „t” wykazało, że korelacja nie jest przypadkowa.

Z wzoru (19) wynika, że roczne koszty eksploatacji sieci kanalizacyjnej można zapisać wzorem:

$$K = 614 \cdot 10^3 \cdot L^{0,521} \quad (20)$$

gdzie:

K — całkowite roczne koszty eksploatacji miejskich sieci kanalizacyjnych, zł/a
 L w km

Najistotniejszym elementem kosztów eksploatacji miejskiej sieci kanalizacyjnej są koszty jej czyszczenia. Analiza zebranych danych pozwoliła na ustalenie zależności opisanej wzorem:

$$k_{cz} = 182 \cdot 10^3 (L + 40)^{-1,917} \quad (21)$$

gdzie:

k_{cz} — jednostkowe koszty czyszczenia miejskiej sieci kanalizacyjnej, zł/m·a
 L — długość sieci kanalizacyjnej z pominięciem przykanalików, km.

Roczne koszty czyszczenia miejskiej sieci kanalizacyjnej można wyrazić wzorem:

$$K_{cz} = 182 \cdot 10^6 L (L + 40)^{-1,917} \quad (22)$$

gdzie:

K_{cz} — roczne koszty czyszczenia miejskiej sieci kanalizacyjnej, zł/a
 L w km.

Wykorzystując wzory (19) i (21) zestawiono poniżej przykładowe wartości jednostkowych kosztów eksploatacji i jednostkowych kosztów czyszczenia, w odniesieniu do miejskiej sieci kanalizacyjnej różnej długości:

L, km	10	20	50	100	200
k , zł m ⁻¹ a ⁻¹	203,8	146,2	94,3	67,6	48,5
k_{cz} , zł m ⁻¹ a ⁻¹	100,7	71,0	32,6	14,0	5,0
$(k_{cz} : k) \cdot 100$, %	49,0	48,6	34,6	20,7	10,3

Ekonomiczna efektywność miejskiej sieci kanalizacyjnej

Przy ocenie ekonomicznej efektywności miejskiej sieci kanalizacyjnej proponuje się wykorzystanie formuły uproszczonej wskaźnika efek-

tywności, w nieco zmodyfikowanej postaci, a mianowicie:

$$E = \frac{\alpha J r + K}{L} \quad (23)$$

gdzie:

E — współczynnik ekonomicznej efektywności, zł/a·m

α — współczynnik uwzględniający zamrożenie nakładów inwestycyjnych w czasie budowy, którego wartość można przyjmować w wysokości $\alpha = 1,12$

J — nominalne nakłady inwestycyjne, zł

r — stopa dyskontowa, a⁻¹; zgodnie z obowiązującymi zasadami $r = 0,08$ a⁻¹

K — całkowite roczne koszty eksploatacji, zł/a

L — całkowita długość miejskiej sieci kanalizacyjnej, m.

Biorąc pod uwagę wzory (18), (20) oraz wzór pozwalający na określenie długości sieci kanalizacyjnej, jak również to, iż $\alpha = 1,12$ i $r = 0,08$ a⁻¹, wzór (23) można przedstawić w postaci:

$$E = \frac{0,669 \cdot M^{0,8258} (Ad_{rk}^2 + Bd_{rk} + C) + 614 \cdot 10^3 L^{0,512}}{7,465 M^{0,8258} L} \quad (24)$$

gdzie: E w zł/a·m, d_{rk} w m, L w km

Wzór powyższy może służyć do oceny ekonomicznej efektywności miejskich sieci kanalizacyjnych w systemie rozdzielczym z zastosowaniem jedynie do kanalizacji sanitarnej. Dotyczy to oczywiście kanalizacji w układach konwencjonalnych. Można zatem wzór (24) i wynikające z niego wartości liczbowe wykorzystywać przy projektowaniu sieci kanalizacji w układach konwencjonalnych lub przy dokonywaniu porównań kanalizacji konwencjonalnej z układami kanalizacji niekonwencjonalnej (ciśnieniowej lub podciśnieniowej).

Wnioski

1. Określono zasady wyznaczania wysokości nakładów inwestycyjnych, kosztów eksploatacji oraz wskaźnika ekonomicznej efektywności dla sieci kanalizacji sanitarnej w systemie rozdzielczym i przy konwencjonalnym jej rozwiązaniu.

2. Podane zasady oceny ekonomicznej efektywności dają podstawę do prowadzenia wszelkich analiz porównawczych pomiędzy kanaliczacją w układach konwencjonalnych z układami niekonwencjonalnymi. Można je również wykorzystać przy analizie celowości wypłykania sieci kanalizacyjnej.

LITERATURA

1. J. DOLECKA, J. DOLECKI, B. KLEPACKA, A. USAKIEWICZ: Analiza kosztów budowy sieci wodociągowych i kanalizacyjnych. Praca naukowo-badawcza wykonana w Politechnice Białostockiej. Białystok 1980 r.
2. A. USAKIEWICZ: Kryteria ekonomicznego doboru średnic w sieciach kanalizacyjnych. Materiały seminarium szkoleniowego, zorganizowanego przez BPBK — Katowice i CTK — Warszawa. Wisła 1981 r.