

## ZAKRES STOSOWANIA WYWOZU NIECZYSTOŚCI CIEKŁYCH Z TERENÓW NIESKANALIZOWANYCH

Jednym z podstawowych problemów, związanych z ochroną środowiska zewnętrznego, jest zagadnienie usuwania i unieszkodliwiania nieczystości ciekłych, powstających na terenie nieruchomości lub osiedli nie przyłączonych do centralnego systemu kanalizacyjnego. Stosowane powszechnie zbiorniki bezodpływowe nie spełniają podstawowego kryterium, jakim jest zabezpieczenie płytko położonych wód gruntowych przed zanieczyszczeniem. Wynika to z tego, że w założeniu szczelne zbiorniki bezodpływowe, stają się bardzo szybko **dołami** nieszczelnymi na skutek wybicia otworów w ścianach lub dnie. Taka działalność spowodowana jest bardzo wysokimi kosztami wywozu nieczystości ciekłych, kosztów poniesionych przez **samych właścicieli nieruchomości**. Trudna zazwyczaj sytuacja finansowa właściciela nieruchomości zmusza go do poszukiwania oszczędności. Niestety wielu właścicieli uważa, że jednym ze źródeł oszczędności jest właśnie sprawa wywozu nieczystości. Jest to oczywiście z gruntu niewłaściwe podejście do tego zagadnienia, ale jest to jednocześnie sytuacja bardzo trudna do uregulowania w sensie prawnym i organizacyjnym. Można z tego wyciągnąć ogólny wniosek, że najlepszym rozwiązaniem byłoby wprowadzenie zakazu stosowania zbiorników bezodpływowych. Jest to wniosek niewątpliwie słuszny z punktu widzenia technicznego i sanitarnego, lecz jego realizacja wymagałaby jednocześnie podjęcia przedsięwzięć inwestycyjnych związanych z budową osiedlowych sieci kanalizacyjnych oraz urządzeń, pozwalających na unieszkodliwianie ścieków (w oczyszczalni miejscowej — osiedlowej lub w oczyszczalni pobliskiej jednostki osadniczej). Takie rozwiązanie byłoby możliwe przy odpowiednim zabezpieczeniu materiałowym oraz przy zapewnieniu potencjału wykonawczego.

Jak to wynika z wyżej przedstawionych wywodów ogólnych, stosowanie zbiorników bezodpływowych powinno być ograniczone do niezbędnego minimum, a w to miejsce powinny być stosowane rozwiązania centralne w formie osiedlowych systemów kanalizacyjnych. Oczywiście jest, że wniosek ten może być realizowany dopiero w przyszłości, po odpowiednim przygotowaniu przedsiębiorstw wykonawczych oraz przy odpowiednim zabezpieczeniu materiałowym.

Zagadnieniu usuwania nieczystości ciekłych została nadana bardzo wysoka ranga, gdyż w ramach Rządowego Programu Badawczo-Rozwojowego PR-5, w zadaniu 02.03.04.6 pt. „Program rozwoju systemów oczyszczania miast” umieszczony został również temat związany ze sposobami usuwania i unieszkodliwiania nieczystości ciekłych z terenów nie przyłączonych do sieci kanalizacyjnej.

W niniejszym referacie przedstawiono wyniki analizy techniczno-ekonomicznej wywozu nieczystości ciekłych z terenów nie podłączonych do sieci kanalizacyjnych w porównaniu z wariantem przewidywanym budowę centralnych urządzeń kanalizacyjnych.

### Koszty wywozu nieczystości ciekłych

Analiza kosztów wywozu nieczystości ciekłych była już przedmiotem kilku opracowań [1], [2], [3], zarówno o charakterze statystycznym jak i o charakterze rozważań teoretycznych.

Praca o charakterze statystycznym została wykonana w roku 1977 przez Centrum Techniki Komunalnej [1]. Dane zebrane przez CTK pozwoliły na stwierdzenie, że opłaty pobierane za wywóz nieczystości ciekłych wynoszą od 25 zł/m<sup>3</sup> do 43 zł/m<sup>3</sup>, zaś jednostkowe koszty wywozu wahają się w granicach od 22,8 zł/m<sup>3</sup> do 33,2 zł/m<sup>3</sup>. Wielkości te wykazują charakter progresywny w ciągu ostatnich lat i tak porównując dane z 1970 roku i z 1975 roku wzrost tych kosztów wyniósł od 10 do 15%. Analiza rozliczeń przeprowadzonych w 1978 roku przez Dział Ekonomiczny Miejskiego Przedsiębiorstwa Oczyszczania w Warszawie, pozwoliła na stwierdzenie, że koszt wywozu nieczystości ciekłych waha się w przedziale od ok. 36 zł/m<sup>3</sup> do ok. 70 zł/m<sup>3</sup>. Zatem porównując dane zebrane przez CTK i dane zebrane w MPO w Warszawie można zaobserwować wzrost kosztu wywozu nieczystości płynnych o ok. 50% spowodowany głównie wzrostem kosztu robocizny oraz kosztem zużycia paliwa.

Rozważania teoretyczne dotyczące kosztu wywozu nieczystości ciekłych były prowadzone w Instytucie Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego

Politechniki Warszawskiej [2] i w Zakładzie Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej [3]. Koszty wywozu nieczystości ciekłych są zależne od parametrów technicznych środków transportowych oraz odległości między bazą i osiedlem i odległości między osiedlem a stacją zlewną. W ramach analizy kosztów wywozu nieczystości należy uwzględnić następujące elementy:

- koszty płac obsługi środka transportowego
- koszty ogólne wynikające z działalności przedsiębiorstwa
- koszty materiałów, a w tym paliwa, ogumienia i materiałów dodatkowych
- koszty remontów bieżących i kapitalnych środków transportu
- amortyzacja środków transportu

Przeprowadzone rozważania szczegółowe pozwoliły na sformułowanie wzoru do określenia kosztu wywozu nieczystości ciekłych:

$$k_w = \frac{8}{n \cdot W_s} \cdot k_1 + k_2 + \frac{(2n-1) l_o + l_d + l_p}{n \cdot W_s} \cdot k_3 \quad (1)$$

gdzie:

- $k_w$  — koszt wywozu nieczystości ciekłych, zł/m<sup>3</sup>,
- $n$  — liczba kursów określonego rodzaju transportu asenizacyjnego w ciągu doby, d<sup>-1</sup>,
- $W_s$  — pojemność zbiornika na nieczystości w środku transportowym określonego rodzaju, m<sup>3</sup>,
- $k_1$  — suma jednostkowych kosztów płac, kosztów ogólnych i kosztów materiałów dodatkowych, zł/h,
- $k_2$  — jednostkowe koszty paliwa zużywanego przy załadunku i wyładunku zbiorników na nieczystości, zł/m<sup>3</sup>,
- $l_o$  — droga dojazdu z osiedla do stacji zlewnej, km,
- $l_d$  — droga dojazdu z bazy do pierwszej nieruchomości w osiedlu, km,
- $l_p$  — droga powrotu ze stacji zlewnej do bazy, km,
- $k_3$  — suma kosztów jednostkowych zużycia paliwa w czasie jazdy, zużycia ogumienia, kosztów remontów i kosztów amortyzacji na odtworzenie, zł/km.

Liczbę kursów określonego rodzaju środka transportu można określić z wzoru:

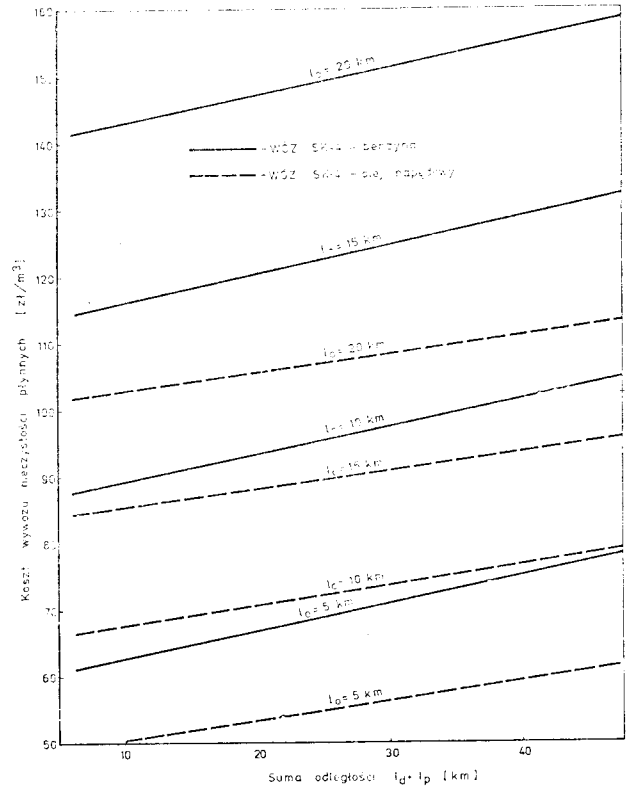
$$n = \frac{V_e (t - t_o) + l_o - l_d - l_p}{2l_o + V_e \cdot t_m} \quad (2)$$

gdzie:  $n$  w d<sup>-1</sup>

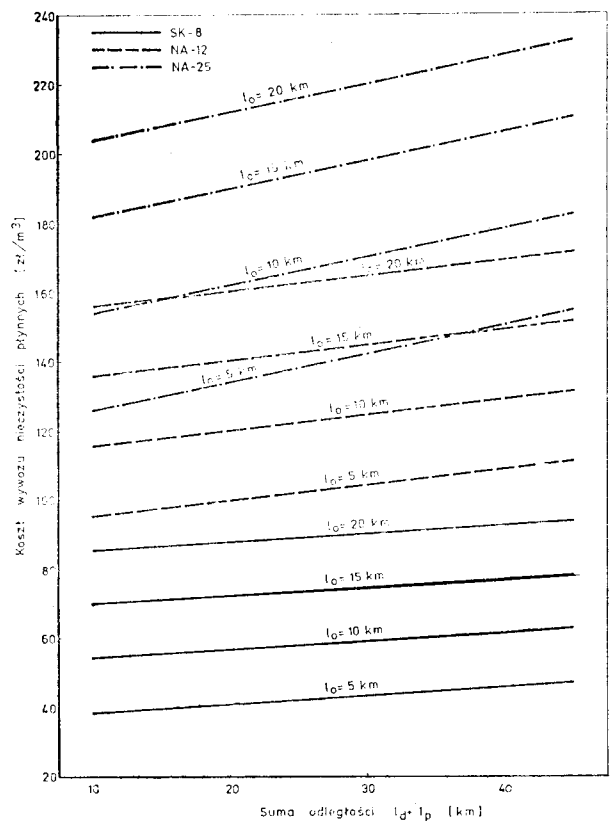
- $v_e$  — prędkość eksploatacyjna taboru asenizacyjnego km/h,
- $t$  — ogólny czas pracy taboru w ciągu doby, h/d,
- $t_o$  — czas niezbędny na obsługę codzienną i przerwę w pracy, h/d,

$t_m$  — czas przeznaczony na czynności związane z napełnieniem i opróżnieniem zbiornika na nieczystości, h/d,

$l_o, l_d, l_p$  — jak we wzorze (1).



Rys. 1 Koszty wywozu nieczystości płynnych przy użyciu wozu asenizacyjnego typu SK-4 (objaśnienie w tekście).



Rys. 2 Koszty wywozu nieczystości płynnych przy użyciu różnych środków transportu (objaśnienie w tekście).

Wyżej przedstawione wzory pozwalają na obliczenie kosztów wywozu nieczystości ciekłych przy użyciu różnych środków transportu. Charakterystykę środków transportu, stosowanych przy wywozie nieczystości ciekłych podano w tabeli 1, zaś w tabeli 2 zestawiono podstawowe dane wyjściowe do obliczania kosztów wywozu nieczystości ciekłych przy użyciu różnych środków transportu.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono zależności pozwalające na określenie kosztu wywozu nieczystości ciekłych przy użyciu różnych środków transportu i przy założeniu różnych warunków pracy transportu.

Dane przedstawione na rysunkach 1 i 2 pozwalają na stwierdzenie, że koszty wywozu nieczystości ciekłych są bardzo wysokie i wahają się w przedziale od ok. 40 zł/m<sup>3</sup> do ponad 200 zł/m<sup>3</sup> zależnie od stosowanego środka transportu i odległości od bazy do nieruchomości, od nieruchomości do stacji zlewnej oraz od stacji zlewnej do bazy.

Analiza danych statystycznych zebranych przez CTK [1] oraz informacje zebrane w Przedsiębiorstwach Oczyszczanie pozwalają na stwierdzenie, że ze względu na stworzenie optymalnych warunków pracy oraz ze względu na możliwości manewrowania, najkorzystniejsze jest stosowanie dwóch środków transportu, a mianowicie typu SK-4 na olej napędowy oraz samochodu typu SK-8 (naczepy NA-12 i NA-25) są niekorzystne do stosowania ze względu na trudności w manewrowaniu i małą pojemność zbiorników na nieczystości ciekłe. Dane zebrane przez CTK [1] oraz analizy wykonane przez Zakład Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej [3] wskazują, że droga dojazdowa z osiedla do stacji zlewnej wynosi najczęściej  $l_0 = 10$  km, zaś suma dróg dojazdu z bazy transportu do osiedla i ze stacji zlewnej do bazy transportu —  $l_d + l_b = 20$  km.

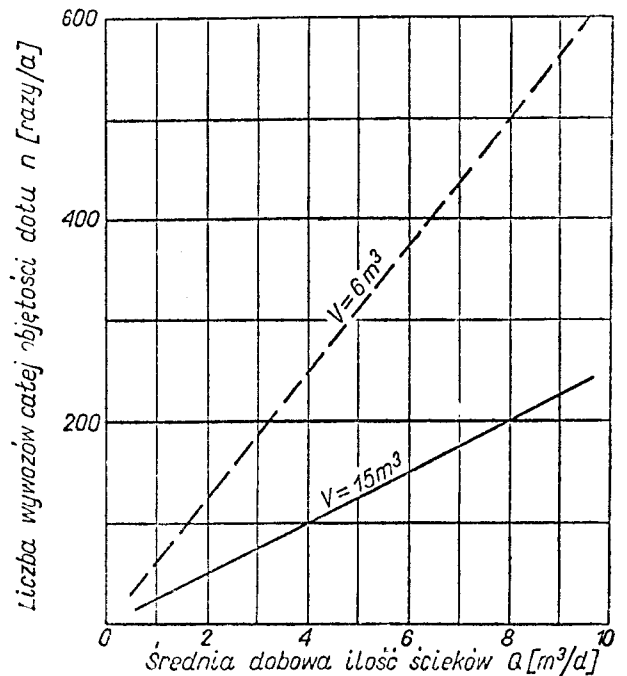
Przy wyżej podanych założeniach praktycznych można przyjąć, że koszt wywozu nieczystości ciekłych wynosi:

- przy stosowaniu samochodu SK-4 —  $k_w = 93,5$  zł/m<sup>3</sup>,
- przy stosowaniu samochodu SK-8 —  $k_w = 57$  zł/m<sup>3</sup>.

Wartości powyższe są znacznie wyższe od danych zebranych przez CTK [1] lecz są bardzo zbliżone do wartości maksymalnych, podanych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania w Warszawie. Wyżej prowadzone rozważania potwierdzają wcześniej wysunięte wnioski, dotyczące zagrożenia środowiska zewnętrznego ściekami wprowadzanymi do gruntu. Zakładając, że zużycie wody w przeliczeniu na 1 mieszkańca wynosi średnio  $q = 0,15$  m<sup>3</sup>/M.d, to przy 5 osobach zamieszkałych w jednym domku, roczny koszt wywozu nieczystości wyniósłby:

$$K_w = 5 \cdot q \cdot 365 \cdot k_w = 5 \cdot 0,15 \cdot 365 \cdot (57 - 93,5) = 15600 - 25600 \text{ zł/a}$$

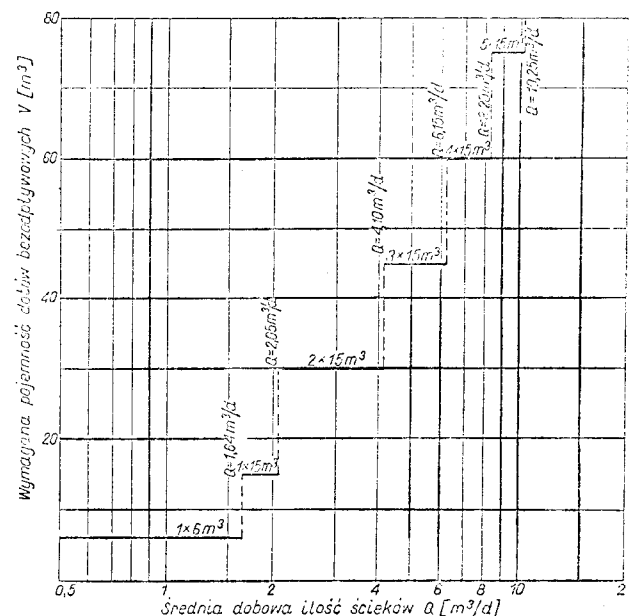
Jest to suma bardzo znacząca w stosunku do budżetu mieszkańców domów jednorodzinnych. Z tego też względu znaczna część ścieków odprowadzana jest do gruntu, przez nieszczelności w zbiornikach bezodpływowych. Dowodem tego jest fakt, że wskaźnik nagromadzenia nieczystości, wyrażający stosunek ilości wywożonych nieczystości do ilości zużywanej wody wynosi  $0,1 - 0,15$  [3], [4].



Rys. 3 Zależność liczby wywozów całej objętości dołów bezodpływowych o różnej pojemności od średniej dobowej ilości ścieków.

### Ekonomiczna efektywność zbiorników bezodpływowych

Zgodnie z informacjami zamieszczonymi w Katalogu Budownictwa typowe pojemności zbiorników bezodpływowych to 6 m<sup>3</sup> i 15 m<sup>3</sup>. W poprzednio wykonywanych pracach [2], [5], przedstawiono zależność liczby wywozów całej objętości zbiorników bezodpływowych o różnej pojemności do średniej dobowej ilości ścieków. Zależność tę podano na rys. 3.



Rys. 4 Zależność do wyznaczenia zakresu stosowania typowych dołów bezodpływowych i ich wielokrotności.

Analiza danych zebranych w Miejskich Przedsiębiorstwach Oczyszczania oraz analiza pracy taboru asenizacyjnego pozwala na wyznaczenie zakresu stosowania zbiorników bezodpływowych i ich wielokrotności, co przedstawiono na rys. 4.

Uwzględniając wyniki rozważań przedstawione na rysunkach 3 i 4 oraz oceniając nakłady inwestycyjne ponoszone przy realizacji zbiorników bezodpływowych i koszty ich eksploatacji można określać wartości wskaźnika ekonomicznej efektywności inwestycji, którego postać po wprowadzeniu obowiązujących wielkości stałych [6] będzie następująca:

$$E = 3 \cdot 10^{-4} \cdot i_Q + 0,9 \cdot k_Q \quad (3)$$

gdzie:

- E — wskaźnik ekonomicznej efektywności, zł/m<sup>3</sup>,
- i<sub>Q</sub> — wskaźnik kapitałochłonności, zł/m<sup>3</sup>/d,
- k<sub>Q</sub> — wskaźnik jednostkowych kosztów eksploatacji, zł/m<sup>3</sup>,
- 0,9 — stosunek rocznych kosztów eksploatacji z pominięciem amortyzacji na odtworzenie do całkowitych rocznych kosztów eksploatacji łącznie z amortyzacją na odtworzenie.

Dane do obliczania wskaźnika efektywności (E), a obejmujące wskaźnik kapitałochłonności (i<sub>Q</sub>) oraz wskaźnik jednostkowych kosztów eksploatacji (k<sub>Q</sub>) jak również wartości wskaźnika efektywności zestawiono w tabeli 3. Dane zestawione w tabeli 1 dotyczą zbiorników bezodpływowych, wykonanych w gruncie suchym oraz przy wywozie nieczystości samochodami SK-4 lub SK-8, przy jednostkowych kosztach wywozu przyjętych poprzednio i wynoszących odpowiednio 93,5 zł/m<sup>3</sup> i 57 zł/m<sup>3</sup>. Realizacja zbiorników bezodpływowych w gruncie nawodnionym powoduje wzrost wskaźników kapitałochłonności o ok. 25<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, wzrost jednostkowych kosztów eksploatacji o ok. 2÷5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> i wzrost wskaźnika ekonomicznej efektywności o ok. 4÷7<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

### Ekonomiczna efektywność osiedlowej sieci kanalizacyjnej

Zgodnie ze wcześniejszymi ustaleniami rozwiązaniem przeciwnym do stosowania zbiorników beodpływowych jest osiedlowa sieć kanalizacyjna. Analizę dotyczącą ekonomicznej efektywności sieci kanalizacyjnej przeprowadzono w oparciu o badania modelowe. Elementami, tworzącymi osiedlową sieć kanalizacyjną są przykanaliki, kanały boczne i kolektory. W rozważaniach pominięto pierwszy z tych elementów, gdyż jest to wspólny element dla obu wariantów i nie wpływa na sformułowanie ostatecznych wniosków.

Długość całkowita kolektora jak i jego długość jednostkowa w przeliczeniu na 1 mieszkańca zależą od powierzchni osiedla oraz od jego kształtu (stosunku szerokości osiedla do jego długości). Ogólnie całkowita długość kolektora może być wyznaczana z wzoru:

$$L_k = \gamma \cdot \sqrt{F} \quad (4)$$

gdzie:

- L<sub>k</sub> — całkowita długość kolektora, m
- γ — współczynnik zależny od stosunku szerokości osiedla (a) do jego szerokości (b)
- F — powierzchnia osiedla, zależna od liczby mieszkańców i rodzaju zabudowy, m<sup>2</sup>.

Analiza różnych rozwiązań osiedli domów jednorodzinnych, pod kątem ich kształtu pozwoliła na wyznaczenie współczynnika γ, którego wartość jest równa pierwiastkowi ze stosunku b/a, przykładowo jeżeli stosunek a/b=1/3, a zatem b/a=3, to γ=1,72 [5].

Długość kanałów bocznych zależna jest od wielkości osiedla oraz rodzaju jego zabudowy. Sumaryczna długość kanałów bocznych usytuowanych po obydwu stronach kolektora i odbierających ścieki z dwóch sąsiednich działek oddzielonych ciągiem pieszo — jezdnym może być wyrażona z wzoru:

$$L_b = \frac{F \cdot s}{2 \cdot f} \quad (5)$$

gdzie:

- L<sub>b</sub> — całkowita długość kanałów bocznych, m
- F — powierzchnia osiedla domów jednorodzinnych, m<sup>2</sup>
- s — szerokość działki, m
- f — średnia powierzchnia działki, zależna od rodzaju zabudowy, m<sup>2</sup>.

Obliczone z wzoru (5) całkowite długości kanałów bocznych i przypisane poszczególnym osiedlom liczby mieszkańców pozwoliły na wyznaczenie jednostkowych długości kanałów bocznych w przeliczeniu na 1 mieszkańca:

- dla zabudowy zwartej — l<sub>b</sub><sup>z</sup> = 0,54 m/M
- dla zabudowy bliźniaczej — l<sub>b</sub><sup>b</sup> = 1,10 m/M
- dla zabudowy wolno stojącej — l<sub>b</sub><sup>w</sup> = 1,8 m/M.

Tak ustalone długości osiedlowej sieci kanalizacyjnej obejmującej kolektory i kanały boczne pozwoliły na wyznaczenie nakładów inwestycyjnych i wskaźników kapitałochłonności oraz rocznych kosztów eksploatacji i jednostkowych kosztów eksploatacji przy wykonaniu sieci w gruncie suchym i nawodnionym oraz przy różnych rodzajach zabudowy. W ramach kosztów eksploatacji uwzględniono koszty remontów bieżących w wysokości 0,1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> nakładów inwestycyjnych, koszty remontów kapitalnych w wysokości 1,1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> nakładów inwestycyjnych, koszty amortyzacji na odtworzenie w wysokości 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub> nakładów inwestycyjnych oraz koszty czyszczenia kanałów w wysokości 13 zł/m.a [5]

Obliczone wskaźniki kapitałochłonności i wskaźniki jednostkowych kosztów eksploatacji pozwoliły na określenie wskaźnika ekonomicznej efektywności według wzoru:

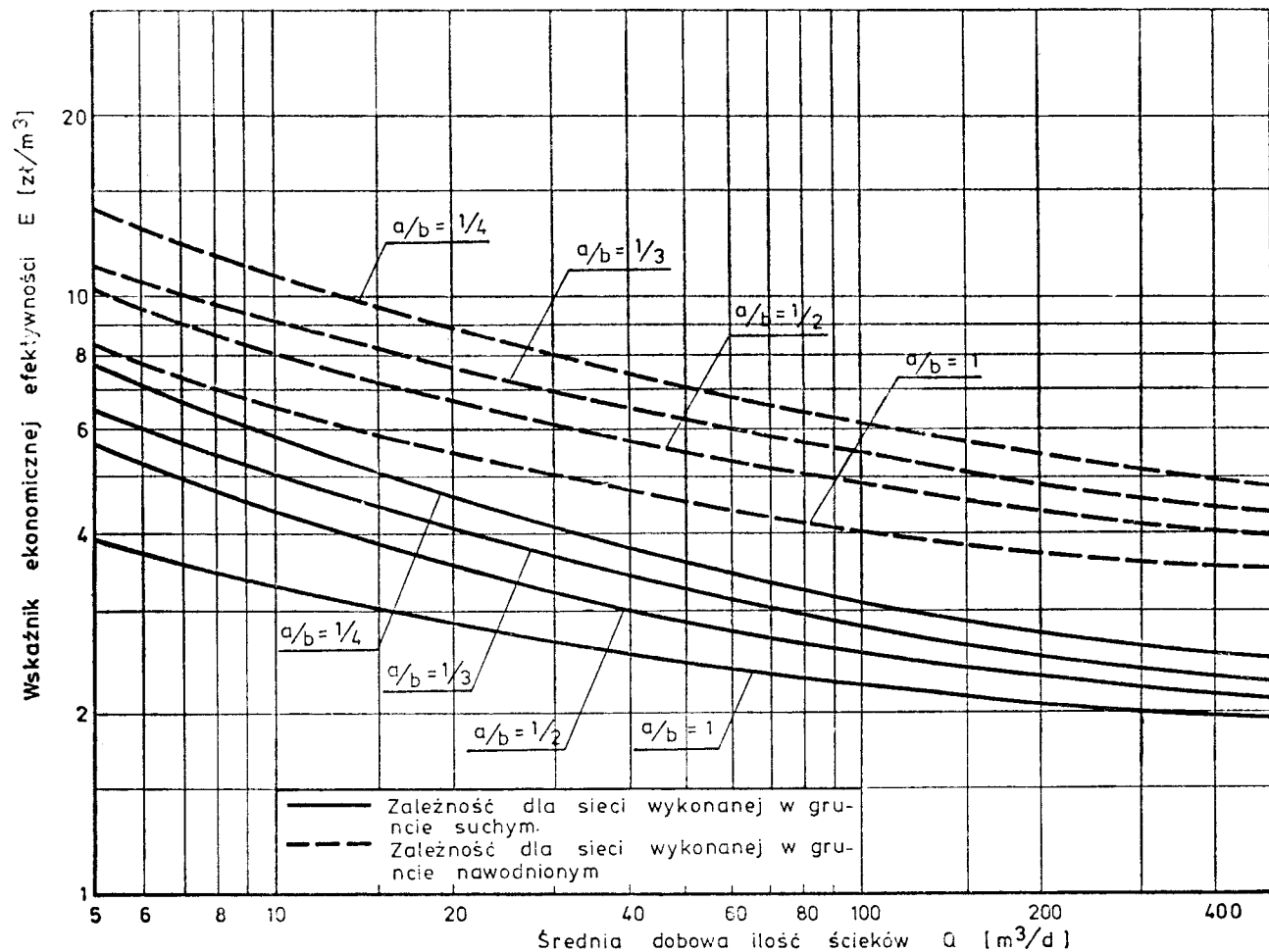
$$E = 2,74 \cdot 10^{-4} \cdot i_Q + 0,75 \cdot k_Q = 2,74 \cdot 10^{-4} \cdot i_Q + 0,75 \cdot \left( 0,875 \cdot 10^{-4} \cdot i_Q + \frac{k_{cz} \cdot L_k + b}{365 \cdot Q} \right) = 3,4 \cdot 10^{-4} \cdot i_Q + 0,75 \cdot \frac{k_{cz} \cdot L_k + b}{365 \cdot Q} \quad (6)$$

gdzie:

- $E$  — wskaźnik ekonomicznej efektywności osiedlowej sieci kanalizacyjnej, zł/m<sup>3</sup>
- $i_Q$  — wskaźnik kapitałochłonności, zł/m<sup>3</sup>/d
- $k_Q$  — wskaźnik jednostkowych kosztów eksploatacji, zł/m<sup>3</sup>
- $k_{cz}$  — koszty czyszczenia kanałów, zł/m·a
- $L_{k+b}$  — suma długości kanałów bocznych i kolektorów, tworzących osiedlową sieć kanalizacyjną, m.

Obliczone z wzoru (6) wskaźniki ekonomicznej efektywności osiedlowej sieci kanalizacyjnej w od-

niesieniu do różnego rodzaju zabudowy i różnych kształtów osiedli domów jednorodzinnych przedstawiono na rysunkach 5, 6 i 7. Przyjęto przy tym, że sieć kanalizacyjna wykonana będzie wariantowo w gruncie suchym lub nawodnionym. Dane przedstawione na rys. 5, 6 i 7 pozwalają na stwierdzenie, że wskaźniki efektywności wykazują w każdym przypadku charakter degresyjny w miarę zwiększania ilości odprowadzanych ścieków, oraz charakter progresyjny w miarę zmniejszania stosunku szerokości osiedla do jego długości. Bardzo istotny wpływ na wartość wskaźników efektywności ma rodzaj zabudowy; wskaźniki efektywności są ok. 2-krotnie wyższe przy zabudowie wolno stojącej, niż przy zabudowie zwartej.

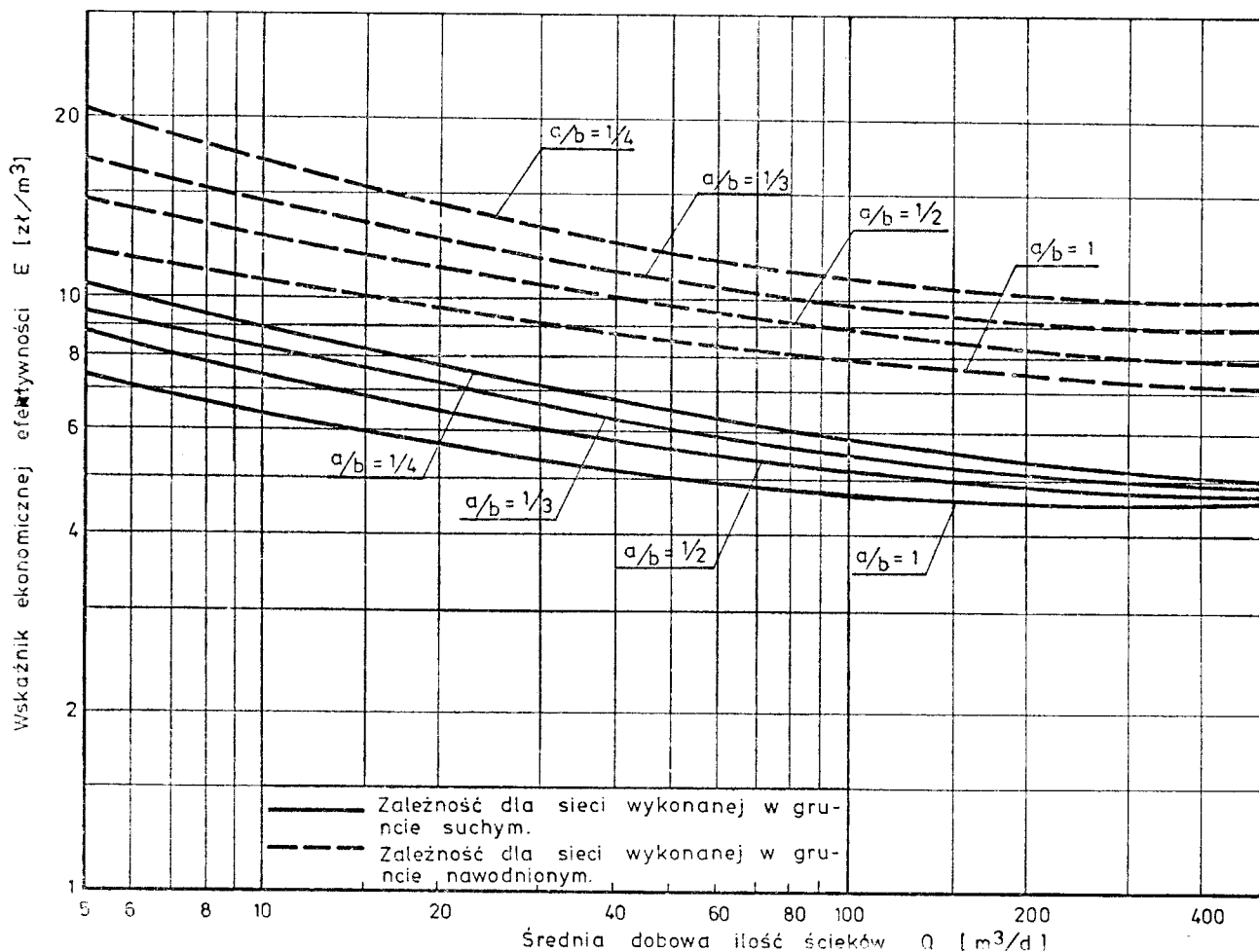


Rys. 5 Zależność wskaźnika efektywności osiedlowej sieci kanalizacyjnej od średniej dobowej ilości ścieków przy zabudowie zwartej.

## Podsumowanie

W referacie dokonano porównania dwóch rozwiązań technicznych polegających na budowie zbiorników bezodpływowych i wywozie nieczystości z jednej strony oraz budowie osiedlowej sieci kanalizacyjnej z drugiej strony. Jako miarę porównania przyjęto wskaźnik ekonomicznej efektywności. Oczywiście jest, że ekonomicznie uzasadnionym rozwiązaniem jest to, dla którego wskaźnik efektywności jest niższy. Porównując dane zestawione w tabeli 1 i dotyczące stosowania zbiorników bezodpływowych oraz dane przedstawione na rysunkach 5, 6 i 7 i dotyczące osiedlowej sieci kanali-

zacyjnej można łatwo zauważyć, że niezależnie od warunków miejscowych znacznie korzystniejszym rozwiązaniem jest budowa osiedlowej sieci kanalizacyjnej, aniżeli realizacja zbiorników bezodpływowych. Dotyczy to oczywiście przypadku gdy zapewniona jest całkowita szczelność zbiorników bezodpływowych, a więc przypadku gdy współczynnik nagromadzenia nieczystości jest bliski jedności. A zatem dotyczy to przypadku gdy rozwiązania projektowe jak i eksploatacja zbiorników bezodpływowych zapewniają całkowitą ochronę środowiska zewnętrznego przed zanieczyszczeniem. Zastosowanie samodzielnie osiedlowej sieci kanalizacyjnej nie rozwiązuje całkowicie problemu u-



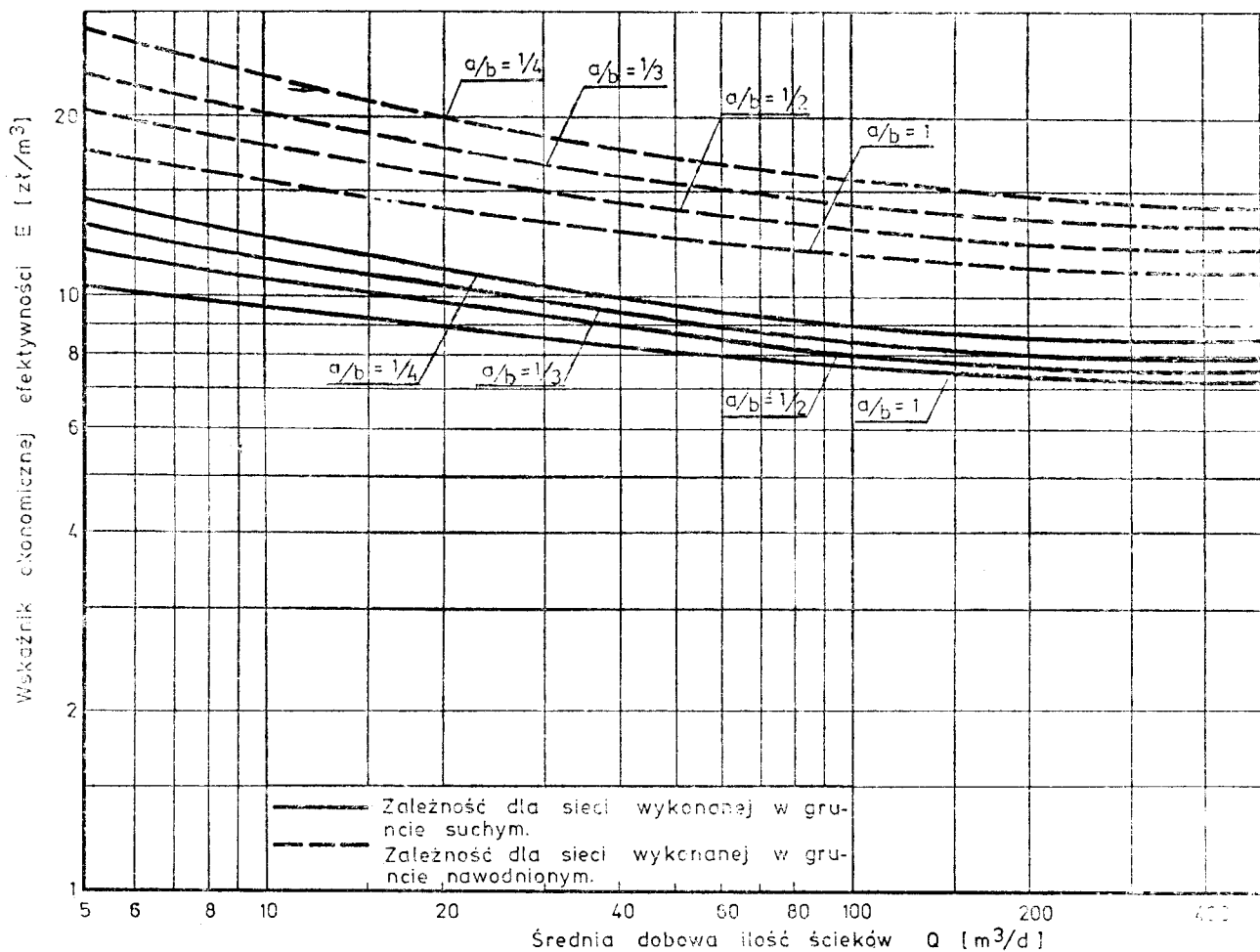
Rys. 6 Zależność wskaźnika efektywności osiedlowej sieci kanalizacyjnej od średniej dobowej ilości ścieków przy zabudowie bliźniaczej.

suwania i unieszkodliwiania ścieków, gdyż drugim elementem tworzącym ten model musi być oczyszczalnia ścieków. Budowa oczyszczalni ścieków dla osiedla domów jednorodzinnych nie spowoduje jednak zwiększenia wskaźnika efektywności w stopniu wskazującym na celowość stosowania zbiorników bezodpływowych. Według innej pracy [7] można stwierdzić, że wskaźniki efektywności dla oczyszczalni przystosowanych dla wielkości osiedli domów jednorodzinnych nie przekraczają wartości 10 zł/m<sup>3</sup>.

Reasumując można stwierdzić, że stosowanie wywożenia nieczystości ciekłych po uprzednim ich zgromadzeniu w zbiornikach bezodpływowych powinno być ograniczone do absolutnego minimum. Może to mieć miejsce tylko w tych wypadkach gdy ani w najbliższej, ani w dalekiej przyszłości nie przewiduje się budowy sieci kanalizacyjnej lub też w tym wypadku gdy budowa sieci kanalizacyjnej jest niemożliwa ze względu na układ terenu i wyjątkowo trudne warunki gruntowe. Należy przy tym podkreślić, że budowa zbiorników bezodpływowych i wywożenie z nich nieczystości ciekłych do stacji zlewnych może mieć bardzo ujemny wpływ na pracę miejskich lub przemysłowych oczyszczalni ścieków w związku z dopływem do nich w krótkim czasie ścieków o bardzo wysokich stężeniach zanieczyszczeń.

#### LITERATURA

1. Analiza techniczno-ekonomiczna metod gromadzenia i usuwania płynnych odpadków komunalnych i przemysłowych (maszynopis niepublikowany) Centrum Techniki Komunalnej, Warszawa 1977.
2. Z. HEIDRICH: Aspekty ekonomiczne unieszkodliwiania ścieków w osiedlach domów jednorodzinnych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Budownictwo, Nr 50. Warszawa 1976.
3. B. KLEPACKA, J. DOLECKA, J. DOLECKI, A. USAKIEWICZ: Analiza kosztu wywozu nieczystości płynnych z wybranych osiedli domów jednorodzinnych (praca niepublikowana). Zakład Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej, Białystok 1979.
4. Analiza techniczno-ekonomiczna taboru i sprzętu w przedsiębiorstwach oczyszczania miast (maszynopis niepublikowany) Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Oczyszczania Miast. Łódź 1977.
5. Z. HEIDRICH: Racjonalny zakres stosowania różnych technicznych rozwiązań zaopatrzenia w wodę oraz usuwania i unieszkodliwiania ścieków w osiedlach domów jednorodzinnych. Dysertacja. Warszawa 1973.
6. Zasady oceny ekonomicznej efektywności inwestycji gospodarki komunalnej. Ministerstwo Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska. Warszawa 1977.
7. Z. HEIDRICH, A. POPLAWSKA, J. TABERNACKI: Charakterystyka ekonomiczna małych i bardzo małych oczyszczalni ścieków, Gospodarka Wodna 10/1977, s. 291—294.



Rys. 7 Zależność wskaźnika efektywności osiedlowej sieci kanalizacyjnej od średniej dobowej ilości ścieków przy zabudowie wolnostojącej.