

dr inż. Janusz Dolecki

Instytut Budownictwa Lądowego
Politechniki Białostockiej

ANALIZA EKONOMICZNEJ EFEKTYWNOŚCI UKŁADÓW KANALIZACJI PODCIŚNIENIOWEJ

Układ kanalizacji podciśnieniowej stanowi alternatywne rozwiązanie odprowadzania ścieków w stosunku do kanalizacji grawitacyjnej. Zasada działania układu kanalizacji podciśnieniowej oraz warunki pracy poszczególnych elementów systemu zostały już przedstawione i opisane we wcześniejszych publikacjach [1, 2]. Celowym jest zatem przedstawienie analizy ekonomicznej efektywności tego systemu kanalizacji. Stanowiąc to może kompleksowy materiał dla oceny celowości podjęcia działań, zmierzających do opracowania rozwiązań technicznych niektórych elementów kanalizacji podciśnieniowej, warunkujących wdrożenie tego systemu w kraju.

Aspekty ekonomiczne zrealizowanych układów kanalizacji podciśnieniowej w RFN oraz w USA wskazują na znaczne oszczędności jakie można uzyskać, stosując system podciśnieniowy jako alternatywę dla kanalizacji grawitacyjnej. Ponieważ prezentowane wyniki analizy ekonomicznej dotyczyły struktury cen oraz kosztów na rynku zachodnioniemieckim i amerykańskim, błędem byłoby przenoszenie tych wartości do warunków krajowych. Opracowane zasady obliczeń kanalizacji podciśnieniowej [3], pozwalające na rozwiązanie i zwymiarowanie poszczególnych elementów układu, z uwzględnieniem warunków ich współdziałania i przebiegu zjawisk zachodzących w pracującym układzie, stworzyły możliwość przeprowadzenia analizy ekonomicznej efektywności stosowania kanalizacji podciśnieniowej w warunkach polskich.

Metoda oceny ekonomicznej

Ocena ekonomiczna została przeprowadzona jako porównawcza analiza ekonomiczna dla alternatywnych rozwiązań systemów odprowadzania ścieków (tj. dla układu sieci grawitacyjnej i sieci podciśnieniowej). Jako wielkość kryterialną przyjęto wartość uproszczonego wskaźnika ekonomicznej efektywności inwestycji [4]. Uproszczenie formuły wskaźnika zostało dokonane w oparciu o przyjęcie następujących założeń:

— W przeprowadzonej analizie ekonomicznej poszukiwano zależności pomiędzy wartościami wskaźnika ekonomicznej efektywności dla układów kanalizacji grawitacyjnej i podciśnieniowej, a nie ich wartości bezwzględnych.

— Rozpatrywane są układy o jednakowej wielkości średniorocznej ilości odprowadzanych ścieków, tzn. przy wymiarowaniu sieci grawitacyjnej nie są uwzględniane wody infiltracyjne.

— Średnia stawka amortyzacyjna, zależna od przewidywanego okresu eksploatacji systemu, została przyjęta jednakowa dla obydwu układów ($s=0,02$).

— Koszty eksploatacji z grupy kosztów umownie stałych: koszty płac bezpośrednich i koszty ogólne, zostały przyjęte na jednakowym poziomie i dlatego też zostały pominięte.

— Koszty remontów, ze względu na brak jakichkolwiek doświadczeń eksploatacyjnych dla systemu kanalizacji podciśnieniowej przyjęto tak jak dla sieci wodociągowej ($a=0,020$), natomiast dla sieci grawitacyjnej wg zaleceń [4, 5] ($a=0,015$); dla pompowni i stacji próżniowej $a=0,020$.

— Pozostałe składniki kosztów i nakładów szacowane są według zaleceń podanych poniżej.

Określanie składowych elementów kosztów

Koszty budowy sieci przewodów

Sumaryczna wysokość nakładów ponoszonych na budowę sieci przewodów wynosi:

$$K_1 = \sum_{i=1}^n K_{ji} \cdot L_i$$

gdzie:

K_1 — sumaryczna wielkość nakładów na budowę sieci przewodów

K_{ji} — jednostkowe nakłady na budowę i-tego odcinka sieci przewodów, ustalane na podstawie zależności przedstawionej w pracy [6], zł/m

L_i — długość i-tego odcinka, m.

Koszty budowy przykanalika i studzienki zbiorczej

Koszty budowy przykanalików i studzienek rewizyjnych dla układu kanalizacji grawitacyjnej (K_{2G}) oraz koszty budowy przykanalików i studzienek zbiorczych z uzbrojeniem dla układu kanalizacji podciśnieniowej (K_{2P}) zestawiono w tab. 1.

Tabela 1

**ZESTAWIENIE KOSZTÓW BUDOWY PRZYKANALIKÓW, STUDZIENKI
REWIZYJNEJ ORAZ STUDZIENKI ZBIORCZEJ Z UZBROJENIEM**

Rodzaj sieci kanalizacyjnej	Koszty budowy	
	wg danych niemieckich	wg danych polskich
Sieć grawitacyjna	677 DM 11500 zł*	14 100 zł**
Sieć podciśnieniowa	994 DM 16900 zł*	szacunkowo 994 14 100 677 = 20 700 zł

* — wg kursu marki zachodnoniemieckiej w 1978 r.

** — obliczone w oparciu o cenniki kosztów KCK3-01 i KCK3-15 przy następujących założeniach:

długość przykanalika	15 m
średnica przykanalika	0,15 m
materiał	kamionka
średnia głębokość ułożenia przykanalika	2,0 m
materiał na budowę studzienki rewizyjnej	kęgi betonowe φ 1,0 m

Koszty budowy pompowni ścieków

Koszty budowy pompowni ścieków wyznaczono na podstawie analizy rozwiązań budowlanych i wskaźników techniczno-ekonomicznych podanych w dokumentacji projektowej obiektów typowych [7].

Wyrowadzoną zależność dla przeanalizowanych obiektów ujęto w postaci wzoru:

$$K_3 = 21 \cdot 10^3 (40 + 0,2 \cdot Q)^{0,5}$$

gdzie:

K_3 — koszt budowy pompowni [zł]
 Q — wydajność pompowni [m^3/h].

Koszty budowy stacji próżniowej

Na koszt budowy stacji próżniowej składać się będą:

- koszt budowy części technologicznej, w której będą zlokalizowane pompy próżniowe, pompy ściekowe, silniki, niezbędne instalacje itp.
- koszt budowy zbiorników.

Określając kubaturę niezbędną dla części technologicznej oraz analizując koszt budowy stalowych zbiorników wyrównawczych, koszt budowy stacji próżniowej ujęto w formie zależności:

$$K_4 = (341 + 9V_z^{1/3}) \cdot 10^3$$

gdzie:

K_4 — koszt budowy stacji próżniowej [zł]
 V_z — pojemność całkowita zbiornika próżniowego [m^3].

Koszty energii elektrycznej

Koszt energii elektrycznej uwzględniany w niniejszej analizie wynikać będzie z zużycia jej na następujące cele:

w kanalizacji grawitacyjnej

- na pompowanie ścieków

w kanalizacji podciśnieniowej

- na pompowanie ścieków
- na wytworzenie i utrzymanie w układzie wymaganego podciśnienia.

Określenie zużycia energii na pompowanie ścieków może być przeprowadzone według wzoru [8]:

$$e_1 = 0,994 \cdot \frac{Q_d H}{\eta_1}$$

gdzie:

e_1 — ilość zużywanej energii elektrycznej [kWh/rok]

Q_d — średni dobowy dopływ ścieków do pompowni [m^3/d]

H — całkowita manometryczna wysokość podnoszenia [m]

η_1 — sprawność zespołu pompowego.

Zużycie energii na wytwarzanie i utrzymanie wymaganego podciśnienia określać można według zależności [9]:

$$e_2 = 0,994 \cdot 10^3 \cdot \frac{Q_d^p L}{\eta_2}$$

gdzie:

e_2 — ilość energii zużywanej na wytworzenie wymaganego podciśnienia [kWh/rok]

Q_d^p — średnia dobowo ilość usuwanego z układu powietrza, (w warunkach normalnych) [m^3/d]

L — zapotrzebowanie na pracę przy adiabatyce przemianie gazu [kgm/ m^3]

η_2 — sprawność zespołu pomp próżniowych.

Tak więc koszty energii elektrycznej zużywanej w poszczególnych układach kanalizacji, przy cenie 1 kWh wynoszącej c złotych wyniosą:

— w kanalizacji grawitacyjnej

$$K_5 = c \cdot e_1 \quad [\text{zł/rok}]$$

— w kanalizacji podciśnieniowej

$$K_6 = c \cdot (e_1 + e_2) \quad [\text{zł/rok}]$$

**Techniczno-ekonomiczne aspekty
stosowania kanalizacji podciśnieniowej**

W oparciu o przedstawione zależności, pozwalające na określenie wartości poszczególnych składników kosztów, podjęto próbę oceny celowości stosowania układu kanalizacji podciśnieniowej. Zgodnie z przyjętymi założeniami oraz oznaczeniami, wartość uproszczonego wskaźnika ekonomicznej efektywności określono według zależności:

— kanalizacja grawitacyjna

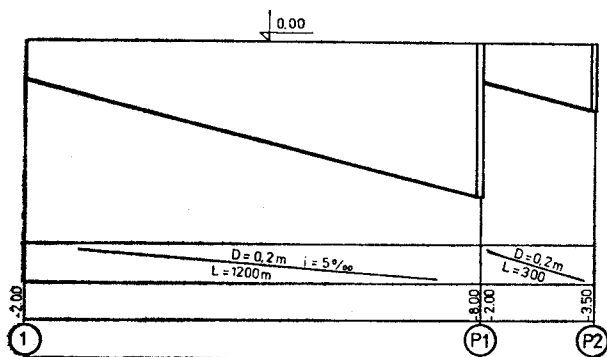
$$E_G = \frac{0,117 \cdot (K_{1G} + K_{2G}) + 0,122 \cdot K_3 + K_5}{Q_r} \quad [\text{zł}/m^3]$$

— kanalizacja podciśnieniowa

$$E_P = \frac{0,122 \cdot (K_{1P} + K_{2P} + K_4) + K_6}{Q_r} \quad [\text{zł}/m^3]$$

Celem umożliwienia przeprowadzenia oceny ekonomicznej efektywności stworzony został modelowy układ kanalizacji odprowadzającej ścieki z terenu zabudowy jednorodzinnej o charakterze linearnym. Układ sieci przewodów został zredukowany do jednego ciągu przewodów o długości odpowiadającej długości zabudowy. Analiza zmierzająca do określenia wartości uproszczonego wskaźnika ekonomicznej efektywności przeprowadzona została dla trzech wariantowych układów modelowych:

- a) systemem kanalizacji podciśnieniowej w terenie płaskim, grunt suchy,
b) systemem kanalizacji grawitacyjnej w terenie o stałym spadku, przy czym $i_t = i_k$, tzn. kanał ułożony jest na stałej, minimalnej głębokości $H_{\min} = 2,0$ m w gruncie suchym,
c) systemem kanalizacji grawitacyjnej w terenie płaskim $i_t = 0$, przy czym kanał ułożony jest ze stałym spadkiem na całej długości ($i_k = 5\text{‰}$), na głębokości od $H_{\min} = 2,0$ m do $H_{\max} = 8$ m. W punktach, w których głębokość kanału przekracza 8,0 m przewidziano pompownie sieciowe (rys. 1).



Rys. 1 Schemat modelowego układu sieci kanalizacyjnej o długości 1500 m

Dla każdego z przedstawionych powyżej wariantów dokonano analizy ekonomicznej, zmieniając długość sieci od 250 do 2000 m, co 250 m. Ilość odprowadzanych ścieków przyjęto

na podstawie obliczeń dla założonego w analizie charakteru zabudowy. Linearny układ zabudowy stanowią domy jednorodzinne zlokalizowane po obydwu stronach przewodu kanalizacyjnego, przy czym szerokość działki przyjęto 25 m, a liczbę mieszkańców w jednym domu $M = 6$. Dla takich założeń, maksymalna liczba mieszkańców wyniesie 960 osób, co przy uwzględnieniu wartości jednostkowego średniodobowego zapotrzebowania na wodę i współczynników nierównomierności dobowej i godzinowej pozwoli na zastosowanie w każdym z układów kanalizacji grawitacyjnej przewodu o jednakowej średnicy 0,2 m. Dla systemu podciśnieniowego przyjęto, że jedna studzienka zbiorcza obsługuje 2 sąsiednie budynki, tak więc na każde 50 m długości sieci przewodów przypadają 2 studzienki. Wysokość podnoszenia ścieków w pompowni przyjęto:

— dla pompowni zlokalizowanej na ciągu przewodów

od $H_{\min} = 2,0$ m do $H_{\max} = 8,0$ m,

— dla pompowni stanowiącej końcówkę sieci oraz dla układu podciśnieniowego

od H_k do powierzchni terenu

Według przedstawionych zasad i zaleceń zostały określone koszty składające się na wartość wskaźnika ekonomicznej efektywności dla każdego z wariantów.

Wyniki obliczeń przedstawione zostały w tabelach 2 i 3 oraz na rysunku 2.

Tabela 2

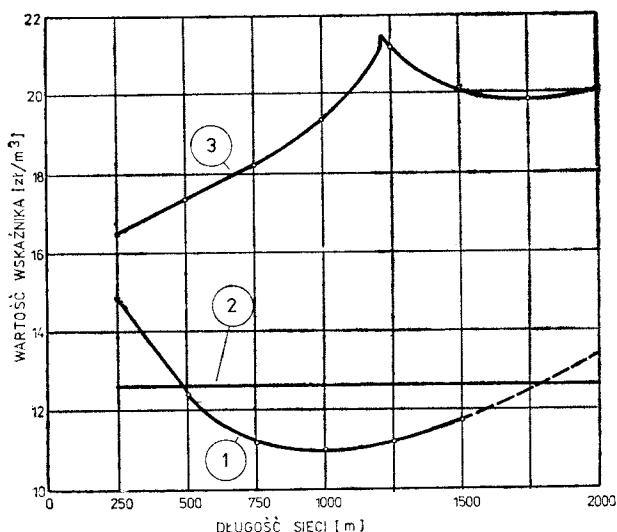
WARTOŚCI PORÓWNAWCZEGO WSKAŹNIKA EKONOMICZNEJ EFEKTYWNOŚCI DLA UKŁADU KANALIZACJI PODCIŚNIENIOWEJ

Długość sieci	Liczba miesz- kańców	Roczny odpływ ścieków	Nakłady inwestycyjne		Suma rocz- nych zdyskon- towanych na- kładów i amortyzacji	Koszty remontów	Koszty energii	Suma na- kładów rocznych	Porównaw- czy wska- źnik efek- tywności ekonomicz.
			sieć, przyka- naliki, studz. zbiorcze	stacja próżniowa					
m	M	tys. m ³ /a	tys. zł			tysiące złotych/rok			zł/m ³
250	120	6.57	454.7	342.1	81.274	12.749	3.528	97.551	14.85
500	240	13.14	909.4	391.9	132.732	20.821	9.156	162.709	12.38
750	360	19.71	1364.1	341.9	174.012	27.296	18.050	219.358	11.13
1000	480	26.28	1824.8	342.0	221.014	34.669	32.837	288.620	10.98
1250	600	32.85	2309.2	343.7	270.596	42.446	54.040	367.082	11.17
1500	720	39.42	2823.5	345.3	323.218	50.701	87.850	461.769	11.71

Tabela 3

WARTOŚCI PORÓWNAWCZEGO WSKAŹNIKA EKONOMICZNEJ EFEKTYWNOŚCI DLA UKŁADU KANALIZACJI GRAWITACYJNEJ Z POMPOWNIĄ

Długość sieci	Liczba miesz- kańców	Roczny odpływ ścieków	Nakłady inwestycyjne		Suma rocz- nych zdyskon- towanych na- kładów i amortyzacji	Koszty remontów	Koszty energii	Suma na- kładów rocznych	Porówna- wcy wska- źnik efek- tywności ekonomicz.
			sieć, przyka- naliki	pompownia					
m	M	tys. m ³ /a	tys. zł			tys. zł/a			zł/m ³
250	120	6.57	789.3	133.0	94.075	13.835	0.242	108.132	16.46
500	240	13.14	1807.3	133.3	197.941	29.109	0.671	227.781	17.33
750	360	19.71	2922.0	133.5	311.661	45.833	1.286	358.780	18.20
1000	480	26.28	4304.8	133.8	452.737	66.579	2.087	521.403	19.84
1250	600	32.85	5653.8	268.1	603.952	88.817	2.147	694.916	21.15
1500	720	39.42	6476.5	268.3	687.970	101.172	3.713	792.855	20.11
1750	840	45.99	7482.0	268.8	790.561	116.259	4.426	911.446	19.82
2000	960	52.56	8489.0	268.8	913.367	134.367	5.725	1053.778	20.05



Rys. 2 Wartości wskaźnika ekonomicznej efektywności analizowanych układów kanalizacji.

1 — kanalizacja podciśnieniowa,
2 — kanalizacja grawitacyjna bez pompowni,
3 — kanalizacja grawitacyjna z pompowniami sieciowymi

Wnioski

1. Na podstawie uzyskanych rezultatów można stwierdzić, że nawet w granicznie korzystnych warunkach dla układu grawitacyjnego (przewód ułożony na stałej, minimalnej głębokości 2,0 m w gruncie suchym) dla sieci o długości powyżej 480 metrów, korzystniejszym rozwiązaniem pod względem ekonomicznym będzie układ kanalizacji podciśnieniowej. W przypadku konieczności stosowania pompowni ścieków, wskaźnik ekonomicznej efektywności dla układu podciśnieniowego osiąga wartość niższą przy długości sieci około 130 m. Analizując strukturę kosztów dla każdego z modelowych rozwiązań można postawić tezę, iż w miarę rozbudowy układu sieci, w porównaniu z przyjętymi schematami w układach modelowych oraz w miarę pogarszania się warunków hydrogeologicznych, kryterialny czynnik ekonomiczny (korzystniejszy dla układu kanalizacji podciśnieniowej) pojawi się przy jeszcze mniejszej długości sieci.

2. Należy uwypuklić istotny element, niekorzystny dla kanalizacji podciśnieniowej, tj. energochłonność tego systemu. Zapotrzebowanie energii elektrycznej jest w tym układzie kanalizacji kilkadziesiąt razy większe w porównaniu z równoważnymi układami kanalizacji grawitacyjnej z pompowniami. Świadczyć o tym może udział kosztów energii elektrycznej w strukturze wskaźnika ekonomicznej efektywności układów kanalizacji podciśnieniowej.

3. Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że kanalizacja podciśnieniowa jest korzystniejszym rozwiązaniem z punktu widzenia ekonomicznego, w porównaniu z systemem grawitacyjnym, a jedynymi czynnikami ograniczającymi jego stosowanie będą:

- czynniki natury technicznej związane z możliwością uzyskania i utrzymania w układzie odpowiedniego podciśnienia,
- uzyskanie odpowiednich warunków zasilania w energię elektryczną przy uwzględnieniu wielkości jej zapotrzebowania i niezawodności dostawy.

4. Analiza przeprowadzona dla krajowego poziomu cen i struktury kosztów wykazała, że układ kanalizacji podciśnieniowej stanowi w pełni konkurencyjne rozwiązanie w stosunku do systemu grawitacyjnego. Należy jednak pamiętać, że zakres i celowość stosowania tego rozwiązania określona jest dla specyficznych warunków hydrogeologicznych i rodzaju zabudowy. Dlatego też decyzja o wyborze sposobu odprowadzania ścieków musi być każdorazowo poparta analizą techniczno-ekonomiczną rozwiązań alternatywnych, takich jak kanalizacja grawitacyjna lub wywóz ścieków transportem kołowym, dla którego metodą oceny ekonomicznej przedstawiono w publikacjach [10, 11].

LITERATURA

1. J. DOLECKI: Podciśnieniowy system kanalizacji. Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Postęp techniczny w kanalizacji”. PZITS, Wrocław 1977 r.
2. J. DOLECKI: Kanalizacja podciśnieniowa. GWTS Nr 12, 1977 r.
3. J. DOLECKI: Podstawy projektowania układów kanalizacji podciśnieniowej oraz ocena ich ekonomicznej efektywności. Dysertacja. Warszawa 1983 r.
4. W. ROKICKI: Zasady oceny ekonomicznej efektywności inwestycji nieprodukcyjnych. Biuletyn Informacyjny Nr 11 1974 r. (zespół III).
5. Zarządzenie nr 16 Ministra Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska z dnia 27.06.1977 r.
6. Analiza kosztów budowy przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych. Zespół autorski: J. Dolecki, J. Dolecki, B. Klepacka, A. Usakiewicz. Centrum Techniki Komunalnej, Warszawa 1981 r.
7. Zestaw kart katalogu budownictwa. KB — 4.11. Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa. Warszawa 1975 r.
8. Z. PŁASKOWSKI, M. ROMAN: Konstrukcje budowlane pompowni ścieków. Arkady, Warszawa 1968 r.
9. Z. PŁASKOWSKI, M. ROMAN: Konstrukcje budowlane w oczyszczalniach ścieków. Arkady, Warszawa 1975 r.
10. J. DOLECKI, B. KLEPACKA, A. USAKIEWICZ: Koszty wywozu ścieków z terenów osiedli wiejskich. III Krajowa Kursokonferencja Naukowo-Techniczna nt. „Odprowadzanie i oczyszczanie ścieków i odpadów w rolnictwie, a ochrona środowiska”. Słupsk 1979 r.
11. Z. HEIDRICH, A. POPLAWSKI: Aspekty techniczno-ekonomiczne wywożenia nieczystości płynnych z nieskanalizowanych terenów wiejskich. Jak wyżej.