

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA

Z E S Z Y T Y
N A U K O W E
W Y D Z I A Ł U
B U D O W N I C T W A
I I N Ź Y N I E R I I
Ś R O D O W I S K A

NR

21

INŻYNIERIA ŚRODOWISKA



Analiza ekonomiczna przydomowych oczyszczalni ścieków

*Jerzy Bykowski
Katedra Melioracji
i Kształtowania Środowiska
Akademia Rolnicza
im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu*

1. Wstęp

Obszary wiejskie w znacznej części charakteryzują się zabudową rozproszoną, gdzie odległości między gospodarstwami wynoszą kilkadziesiąt i więcej metrów [5,9]. W tych warunkach od kanalizacji zbiorczej, korzystniejsze mogą okazać się właściwie dobrane pod względem parametrów technicznych systemy asenizacji indywidualnej. Z punktu widzenia indywidualnego inwestora podstawowym problemem jest wybór odpowiednich urządzeń również pod względem ekonomicznym.

2. Materiał i metody

Celem pracy była ocena efektywności ekonomicznej przydomowych oczyszczalni ścieków. Analizą objęto 14 typowych wariantów urządzeń, oferowanych przez 9 firm polskich i zagranicznych. Przedmiotowe obiekty to systemy złożone z osadnika gnilnego oraz urządzeń drugiego stopnia oczyszczania takich jak: drenaże rozsączające (6 typów), komory z osadem czynnym (2 typy) oraz złoża biologiczne zraszane (3 typy), zanurzone (2 typy) i tarczowe (1 typ). Należy

przy tym podkreślić, że stosowanie lub niestosowanie osadników wstępnych ma decydujący wpływ na układ technologiczny oczyszczalni ścieków.

Praca oparta została na danych uzyskanych od polskich dystrybutorów urządzeń firm zagranicznych bądź przedstawicieli polskich producentów. W pracy wykorzystano również wyniki własnych obliczeń i analiz kosztów, według średnich cen i stawek obowiązujących w I kwartale 2002 roku. Obliczenia przeprowadzono dla gospodarstwa domowego liczącego 5 osób, obsługiwanego przez dany typ urządzenia. Przyjęto optymalne warunki gruntowo-wodne dla posadowienia systemu oczyszczania ścieków.

W analizie ekonomicznej wariantów technologicznych urządzeń zastosowano wskaźniki: kapitałochłonności inwestycji, średniego rocznego kosztu jednostkowego oraz wartość zaktualizowaną netto.

Wskaźnik kapitałochłonności (W_k) jest w zasadzie najprostszym i najbardziej ogólnym wskaźnikiem oceny efektywności ekonomicznej inwestycji, określanym wzorem:

$$W_k = \frac{I}{P} \geq r$$

gdzie:

- I – nominalne nakłady inwestycyjne [PLN],
- P – przewidywana średnia wielkość efektu użytkowego inwestycji,
- r – średnia stopa procentowa na rynku pieniężnym.

Wskaźnik rocznego kosztu jednostkowego (E), mający zastosowanie w analizie inwestycji tzw. nieprodukcyjnych obliczono według formuły [2,5,9]:

$$E = \frac{I(r + s) + K_a}{P}$$

gdzie:

- I – nominalne nakłady inwestycyjne [PLN],
- K_a – roczne koszty eksploatacji urządzeń bez amortyzacji [PLN],
- s – stopa amortyzacji,
- r – stopa dyskontowa,
- P – przewidywana średnia wielkość efektu użytkowego inwestycji w jednostkach naturalnych.

Zaktualizowana wartość netto (NPV) obliczana jest jako suma zdyskontowanych w okresie obliczeniowym, rocznych strumieni pieniężnych netto przy stałej stopie i oddzielnie – dla każdego roku, różnic między wpływami

i wydatkami pieniężnymi powstającymi w okresie eksploatacji obiektu i przyjmuje postać ogólną według wzoru [5, 8]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n NCF_t \cdot a_t$$

gdzie:

t – kolejne lata okresu obliczeniowego,
 NCF_t – strumień pieniędzy netto w kolejnym roku t [PLN],
 a_t – współczynnik dyskontujący.

Wielkość współczynnika dyskontującego (a_t) obliczono wzorem:

$$a_t = \frac{1}{(1 + S_r)^t}$$

gdzie:

S_r – realna stopa oprocentowania kredytu,
 t – liczba lat.

Realną stopę oprocentowania kredytu (S_r) w wymiarze rocznym, określono natomiast ze wzoru:

$$S_r = \frac{1 + s_n}{1 + s_i} - 1$$

gdzie:

s_n – stopa nominalna,
 s_i – stopa inflacji.

Obliczenia wyżej wymienionych parametrów wykonano na podstawie danych Narodowego Banku Polskiego z I kwartału 2002 roku przyjmując nominalną stopę oprocentowania kredytów złotówkowych, dla osób prywatnych (s_n), w wysokości 19,5% oraz roczną stopę inflacji (s_i) równą 5%. Ponadto w obliczeniach założono stopę dyskontową (r) w wysokości 14% (przy stopie redyskontowej weksli NBP w wysokości 12%) i stopę amortyzacji (s) równą 0%. Okres eksploatacji technicznej urządzeń (t) przyjęto na 20 lat.

Jako efekt użytkowy (P) przyjęto 5 mieszkańców (RM) obsługiwanych przez dany typ urządzenia, odprowadzających rocznie do oczyszczalni 275 m³ ścieków (0,150 m³/M na dobę · 5 osób · 365 dni).

3. Wyniki i dyskusja

Przeprowadzone analizy wykazały, że nakłady inwestycyjne (bez kosztów transportu) na wykonanie przydomowych oczyszczalni ścieków są istotnie zróżnicowane i wahają się od 3837 do 37199 PLN (tabela 1). Istotne zróżnicowanie nakładów inwestycyjnych występuje również w ramach poszczególnych rodzajów urządzeń. I tak, w przypadku oczyszczalni ścieków złożonych z osadnika gnilnego i drenażu rozsączającego nakłady inwestycyjne wynoszą od 3837 do 10062 PLN, a wynika to głównie z różnych kosztów montażu, które w typach urządzeń nr 1, 4 i 5 osiągają wartość nawet 4500 PLN.

Tabela 1. Nakłady inwestycyjne (I) oraz wskaźniki kapitałochłonności (W_k) przydomowych oczyszczalni ścieków

Table 1. Money expenditure (I) and index of capital consumption (W_k) of small house sewage treatment plants

Rodzaj oczyszczalni ścieków	Typ	Nakłady inwestycyjne (I) [PLN]	Wskaźnik kapitałochłonności (W _k)	
			[PLN/m ³]	[PLN/RM]
Osadnik gnilny + drenaż rozsączający	1	8 850	32	1770
	2	5 082	18	1016
	3	5 827	21	1165
	4	10 062	37	2012
	5	9 224	34	1845
	6	3 837	14	767
Osadnik wstępny + złożo biologiczne zraszane + osadnik wtórny	7	9 666	35	1933
	8	8 500	31	1700
	9	17 882	65	3576
Osadnik wstępny + złożo biologiczne zanurzone + osadnik wtórny	10	13 616	50	2723
	11	8 800	32	1760
Osadnik wstępny + złożo biologiczne tarczowe + osadnik wtórny	12	37 199	136	7440
Osadnik wstępny + komora napowietrzania z osadem czynnym + osadnik wtórny	13	10 888	40	2177
	14	12 250	45	2450

Analiza struktury nakładów inwestycyjnych pozwala na stwierdzenie, że największy udział w analizowanych kosztach stanowią koszty samych urządzeń, które wynoszą od 44 do 92%. Drugi, co do wartości składnik kosztów przedsięwzięcia to ich montaż, stanowiący od 4 do 52% ich wartości. Pozostała część kosztów (1 do 15%) to koszty opracowania dokumentacji projektowej urządzeń.

Do podstawowych kosztów eksploatacji zaliczono koszty wywozu osadów zgromadzonych w osadnikach gnilnych oraz koszty zużycia energii elektrycznej w tych modelach rozwiązań, w których doczyszczanie ścieków odbywa się z zastosowaniem złóż biologicznych bądź urządzeń osadu czynnego.

Koszty wywozu zależą przede wszystkim od liczby użytkowników oczyszczalni ścieków, pojemności cysterny pojazdu asenizacyjnego oraz odległości wywozu. W określeniu kosztów eksploatacji przydomowych oczyszczalni ścieków podstawowym problemem jest przyjęcie częstości usuwania osadów gromadzonych w osadnikach wstępnych. W literaturze [3,6,10] spotyka się pogląd, że osad powinien być usuwany w przedziale czasowym od 12 do 24 miesięcy. W obliczeniach przyjęto, że jednostkowa dobowo produkcja osadu wynosi $0,65 \text{ dm}^3$ na mieszkańca oraz, że osad będzie usuwany w momencie wypełnienia $\frac{1}{2}$ pojemności czynnej osadnika. Zwykle usuwane jest 90% zawartości osadnika, pozostawiając resztę jako niezbędną dla dalszej, prawidłowej eksploatacji urządzenia. Na podstawie ilości osadów wytwarzanych w ciągu roku w pięcioosobowym gospodarstwie ($0,65 \text{ dm}^3/\text{M}\cdot\text{d} \cdot 5 \text{ M} \cdot 365 \text{ d} = 1186,25 \text{ dm}^3 = 1,186 \text{ m}^3$) oraz objętości osadników wstępnych, stosowanych w poszczególnych systemach oczyszczania ścieków przyjęto, że wywóz osadu odbywa się samochodem o pojemności cysterny $4,5 \text{ m}^3$. Przyjęto także różne odległości wywozu odpowiednio 5, 10 oraz 15 kilometrów.

W części urządzeń (poza systemami złożonymi z osadnika gnilnego oraz drenażu rozsączającego), istotnym składnikiem kosztów eksploatacyjnych jest koszt energii elektrycznej. W niektórych rozwiązaniach dochodzi on nawet do 90% analizowanych kosztów eksploatacji.

Przeprowadzone analizy wykazały, że roczne koszty eksploatacji (koszty wywozu osadów + koszty energii elektrycznej) analizowanych typów przydomowych oczyszczalni ścieków są istotnie zróżnicowane i wynoszą od 47 do 507 PLN, przy wywozie osadów na odległość 5 kilometrów. Najniższe koszty eksploatacji oszacowano dla systemów złożonych z osadnika gnilnego i drenażu rozsączającego, które nie wymagają zużycia energii elektrycznej a kwota wynika wyłącznie z kosztów wywozu osadów. Szczegółową analizę struktury kosztów budowy i eksploatacji przydomowych oczyszczalni ścieków przedstawiono w pracy [4].

Przeprowadzone analizy wybranych wskaźników oceny ekonomicznej inwestycji (tab.1, 2 i 3) pozwalają na stwierdzenie, że na polskim rynku do obsługi pięcio osobowego gospodarstwa domowego znajduje się w ofercie wiele wariantów urządzeń przydomowych oczyszczalni ścieków, istotnie zróżnicowanych nie tylko pod względem technologicznym ale i ekonomicznym. Do tańszych rozwiązań można niewątpliwie zaliczyć typy nr 2, 3 i 6 systemów złożonych z osadnika gnilnego i drenażu rozsączającego. Decydują o tym niskie nakłady inwestycyjne oraz stosunkowo niewysokie roczne koszty eksploatacji urządzeń, związane głównie z kosztami wywozu osadów. W systemach tych odprowadzenie ścieków do gruntu możliwe jest jednak wówczas, gdy grunt charakteryzuje się odpowiednią przepuszczalnością oraz gdy poziom wody gruntowej znajduje się co najmniej 1,5 m poniżej poziomu rozsączania ścieków. Innym czynnikiem mogącym istotnie ograniczyć zakres stosowania tego systemu może być powierzchnia niezbędna do instalacji urządzeń. W systemach z drenażem rozsączającym powierzchnia ta może wynosić od 150 do nawet 250 m².

Dalsza analiza tabel 1,2 i 3 pozwala na stwierdzenie, że do droższych rozwiązań należą pozostałe systemy, oparte na złożach biologicznych bądź komorze napowietrzania. Z analizy przyjętych wskaźników oceny efektywności ekonomicznej inwestycji wynika, że do najdroższych zaliczyć można wariant, w którym doczyszczanie ścieków odbywa się w biologicznym złożu tarczowym (typ 12). Jest to technologicznie zaawansowane rozwiązanie złożone z osadnika wstępnego zblokowanego z komorą fermentacji osadów, biologicznego złoża tarczowego oraz wielostrumieniowego osadnika wtórnego wraz z układem do recyrkulacji ścieków. Złoże obrotowe wykonane zostało z szeregu tarcz z warstwowanych płyt polipropylenowych umieszczonych na konstrukcji ze stali cynkowanej ogniowo. Główne elementy osadników – wstępnego i wtórnego, takie jak koryta odpływowe, przegrody i przelewy wykonane są z płyt polipropylenowych. Dzięki temu są całkowicie odporne na korozję oraz zużycie mechaniczne. Wszystkie części składowe oczyszczalni zostały umieszczone w jednym zbiorniku ze stali konstrukcyjnej, pokrytej warstwą poliuretanu. Cenną zaletą tej oczyszczalni jest jej niewrażliwość na zmiany jakości i ilości ścieków w ciągu doby oraz na kilkudniowe przerwy w ich dopływie. O wyborze droższych rozwiązań mogą decydować również inne czynniki. Wszystkie oczyszczalnie kontenerowe wymagają małą powierzchnię pod inwestycję (od 4 do 15 m²) i zapewniają wysoki stopień redukcji zanieczyszczeń. Należy jednak pamiętać, że są one stosunkowo energochłonne i potrzebują stosunkowo fachowej obsługi [2].

Tabela 2. Średni roczny koszt jednostkowy (E) przydomowych oczyszczalni ścieków
Table 2. Yearly mean unit capital costs (E) of small house sewage treatment plants

Rodzaj oczyszczalni Ścieków	Typ	Wskaźnik rocznego kosztu jednostkowego (E)					
		[PLN/m ³]			[PLN/RM]		
		Odległość wywozu osadu					
		5 km	10 km	15 km	5 km	10 km	15 km
Osadnik gnilny + drenaż rozsączający	1	4,70	4,70	4,80	257	260	263
	2	2,80	2,80	2,90	151	154	157
	3	3,20	3,30	3,40	177	181	185
	4	5,30	5,40	5,40	291	294	296
	5	4,90	4,90	5,00	267	270	273
	6	2,20	2,30	2,40	121	125	130
Osadnik wstępny + złożo biologiczne zraszane + osadnik wtórny	7	5,10	5,20	5,30	280	282	285
	8	4,90	4,90	5,00	268	269	271
	9	9,40	9,50	9,60	517	519	521
Osadnik wstępny + złożo biologiczne zanurzone + osadnik wtórny	10	8,80	8,90	9,00	482	485	488
	11	4,70	4,80	4,90	260	262	264
Osadnik wstępny + złożo biologiczne tarczowe + osadnik wtórny	12	19,80	20,00	20,20	1086	1095	1104
Osadnik wstępny + komora napowietrzania z osadem czynnym + osadnik wtórny	13	6,40	6,50	6,60	350	355	360
	14	7,00	7,10	7,20	386	391	396

Tabela 3. Wartość zaktualizowana netto (NPV) przydomowych oczyszczalni ścieków
Table 3. Net Present Value (NPV) of small house sewage treatment plants

Rodzaj oczyszczalni ścieków	Typ	Wartość zaktualizowana netto (NPV) [PLN]		
		Odległość wywozu osadu		
		5 km	10 km	15 km
Osadnik gnilny + drenaż rozsączający	1	9 151	9 240	9 336
	2	5 383	5 472	5 568
	3	6 275	6 416	6 557
	4	10 363	10 452	10 548
	5	9 525	9 614	9 710
	6	4 285	4 426	4 567
Osadnik wstępny + złożo biologiczne zraszane + osadnik wtórny	7	9 967	10 056	10 152
	8	9 460	9 511	9 556
	9	18 347	18 477	18 554
Osadnik wstępny + złożo biologiczne zanurzone + osadnik wtórny	10	16 861	16 950	17 046
	11	9 241	9 312	9 376
Osadnik wstępny + złożo biologiczne tarczowe + osadnik wtórny	12	38 639	38 933	39 221
Osadnik wstępny + komora napowietrzania z osadem czynnym + osadnik wtórny	13	12 334	12 494	12 661
	14	13 626	13 799	13 965

4. Podsumowanie

Przeprowadzone analizy wykazały, że na krajowym rynku znajduje się obecnie szeroka oferta przydomowych oczyszczalni ścieków. Urządzenia te różnią się jednak istotnie nie tylko pod względem rozwiązań technologicznych ale również pod względem wysokości nakładów inwestycyjnych oraz spodziewanych kosztów eksploatacji. Do rozwiązań tańszych można zaliczyć systemy złożone z osadnika gnilnego oraz drenażu rozsączającego. Zakres stosowania tych systemów zawężają jednak wymagania gruntowo-wodne oraz ograniczenia dotyczące zajmowanej powierzchni. Alternatywą dla nich mogą być droższe systemy oparte o złoża biologiczne lub osady czynne, które zajmują zdecydowanie mniejszą powierzchnię oraz zapewniają wysoki stopień redukcji zanieczyszczeń. Systemy te są jednak stosunkowo energochłonne i wymagają facho-

wej obsługi. Wybór odpowiedniego rozwiązania powinien być zatem dokonany nie tylko z punktu widzenia ekonomicznego ale również w aspekcie technicznym, uwzględniającym lokalne warunki budowy i eksploatacji urządzeń.

Literatura

1. **Błażejowski R.:** *Kryteria oceny techniczno-ekonomicznej oczyszczalni ścieków*. Politechnika Gdańska. Mat. symp. „Oczyszczanie wody i ścieków oraz unieszkodliwianie odpadów”: 33÷41. Gdańsk, 1998.
2. **Błażejowski R.:** *Przydomowe oczyszczalnie ścieków*. Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Zakrzewie. Włocławek, 1999.
3. **Bykowski J., Spychała M., Greser A.:** *Analiza techniczno-ekonomiczna osadników gnilnych*. Mat. symp. „Projektowanie i eksploatacja przydomowych oczyszczalni ścieków”. Eko-Tech, 97÷108. Kiekrz, 2001.
4. **Bykowski J., Wieczorek M.:** *Structure of cost of construction and exploitation of small house waste water treatment plants*. Materiały VII Międzynarodowej Konferencji Naukowej ENVIRO Nitra 2002. Račkova Dolina, Słowacja, 2002 (w druku).
5. **Chudzik B.:** *Problemy zasadności wyboru systemu kanalizacji terenów wiejskich*. Ekoinżynieria nr 3: 26÷32, Warszawa, 1997.
6. **Heidrich Z.:** *Przydomowe oczyszczalnie ścieków - Poradnik*. Wyd. COIB, Warszawa, 1998.
7. **Małej J.:** *Niektóre problemy związane ze stosowaniem osadników wstępnych na oczyszczalni ścieków*. Zeszyty Nauk. Wydz. Bud. i Inż. Środ. Politechn. Koszal. Nr 20, V Ogólnpol. Konf. Naukowa: 385÷394, Koszalin-Ustronie Morskie, 2001.
8. **Martan L.:** *Badanie ekonomicznej efektywności rzeczowych przedsięwzięć inwestycyjnych*. Licz i buduj. Warszawa, 9/2002.
9. **Wierzbicki K.:** *Możliwość stosowania nowoczesnych systemów kanalizacyjnych na terenach wiejskich*. IBMER. Warszawa, 1997.
10. **Wierzbicki K., Wiśniewski A.:** *Koszty wybranych oczyszczalni ścieków lokalnych i indywidualnych kanalizacji wiejskich*. Wiad. Mel. i Łąk.. Warszawa, 3/2000.

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki ocena efektywności ekonomicznej 14 wariantów przydomowych oczyszczalni ścieków. Przedmiotowe obiekty to systemy złożone z osadnika gnilnego oraz urządzeń drugiego stopnia oczyszczania takich jak: drenaże rozsączające, komory z osadem czynnym oraz złoża biologiczne zraszane, zanurzone i tarczowe.

Przeprowadzone analizy wykazały, że na rynku znajduje się obecnie szeroka oferta przydomowych oczyszczalni ścieków. Urządzenia te różnią się istotnie nie tylko pod względem rozwiązań technologicznych ale również pod względem wysokości nakładów inwestycyjnych oraz spodziewanych kosztów

eksploatacji. Do rozwiązań tańszych można zaliczyć systemy złożone z osadnika gnilnego oraz drenażu rozsączającego. Zakres stosowania tych systemów zawężają jednak wymagania gruntowo-wodne oraz ograniczenia dotyczące zajmowanej powierzchni. Alternatywą dla nich mogą być droższe systemy oparte o złoża biologiczne lub osady czynne, które zajmują zdecydowanie mniejszą powierzchnię oraz zapewniają wysoki stopień redukcji zanieczyszczeń. Systemy te są jednak stosunkowo energochłonne i wymagają fachowej obsługi. Wybór odpowiedniego wariantu powinien być zatem dokonany nie tylko z punktu widzenia ekonomicznego ale również w aspekcie technicznym, uwzględniającym lokalne warunki budowy i eksploatacji urządzeń.

Economical Analysis of Small House Sewage Treatment Plants

Abstract

The purpose of the paper is the economical analysis of 14 small house sewage treatment plants. The objects in focus are systems consisting of a septic tank and installations for the second stage of treatment such as: leachlines, activated sludge chambers and biofilters (sprinkled, immersed, circular).

The analyses indicate that there is a wide offer of small house sewage treatment plants. These installations significantly differ with regard to technological solutions as well as capital expenditure value and expected exploitation costs. Systems containing septic tank and leachline can be classified as cheaper solutions. Application range of these systems is limited by ground-water requirements as well as occupied area. More expensive systems based on biofilters or activated sludge can be an alternative for them. These systems occupy smaller area and secure high degree of pollution reduction. But these systems are relatively energy-consuming and require professional service. A choice of proper variant not only from economical point of view but also technical aspect considering local conditions of building and exploitation of installations should be done.