

## ZASTOSOWANIE INDYWIDUALNYCH OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W NIEKORZYSTNYCH WARUNKACH GRUNTOWO-WODNYCH

Beata Karolinczak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok e-mail: b.karolinczak@pb.edu.pl

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono technologiczne i ekonomiczne aspekty zastosowania indywidualnych oczyszczalni ścieków w niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych, rozumianych jako występowanie gruntów nieprzepuszczalnych, a także wysokiego poziomu wód gruntowych. W ramach analizy technicznej usystematyzowano informacje w zakresie możliwych do zastosowania technologii oczyszczania i odprowadzania ścieków oczyszczonych. W ramach analizy ekonomicznej wykazano z jakimi dodatkowymi nakładami inwestycyjnymi wiąże się budowa indywidualnej oczyszczalni ścieków w niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych. W podsumowaniu dokonano analizy efektywności kosztowej możliwych do zastosowania technologii.

**Słowa kluczowe:** indywidualne oczyszczalnie ścieków, grunty nieprzepuszczalne, wysoki poziom wód gruntowych, analiza efektywności kosztowej.

## APPLICATION OF INDIVIDUAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN A DIFFICULT SOIL AND WATER CONDITIONS

### ABSTRACT

The article presents technological and economic aspects of application of individual wastewater treatment plans in difficult soil and water conditions which include impermeable soils and a high level of groundwater. Technical analysis reviews available information around possible technologies applicable to sewage treatment and its discharge. Economic analysis highlights additional outlays that are associated with a construction of the treatment plant in such difficult conditions. In summary, a cost-effectiveness analysis is carried out.

**Keywords:** individual wastewater treatment plant, impermeable soils, high level of groundwater, cost-effectiveness analysis.

### WPROWADZENIE

Wzrastająca świadomość ekologiczna na terenach wiejskich, a także możliwość dofinansowania przedsięwzięć proekologicznych sprawiły, że coraz częściej są podejmowane inwestycje w zakresie poprawy gospodarki wodno-ściekowej [10]. Większość

zadań z zakresu zwodociągowania polskiej wsi zrealizowano w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Zauważono przy tym, że wysoki stopień zwodociągowania przy braku rozwiązania problemu odprowadzania i oczyszczania ścieków jest czynnikiem stwarzającym istotne zagrożenie jakości gleb i wód podziemnych [8].

Sposób odprowadzania i oczyszczania ścieków na terenach niezurbanizowanych zależy od struktury zabudowy i może być różny w poszczególnych częściach miejscowości bądź gminy. Pełne skanalizowanie wsi jest ekonomicznie nieuzasadnione [2]. Indywidualne oczyszczalnie ścieków należy stosować w przypadku, gdy średnia długość kolektora grawitacyjnego przypadającego na jedno gospodarstwo przekracza kilkanaście metrów [1].

Wśród technologii stosowanych do oczyszczania małych ilości ścieków wyróżnia się oczyszczalnie z drenażem rozsączającym, tunelami lub pakietami rozsączającymi, filtrem piaskowym, złożem hydrofitowym, a także oczyszczalnie kontenerowe: z komorą osadu czynnego (w tym również z sekwencyjnym reaktorem biologicznym), ze złożem biologicznym, a także oczyszczalnie hybrydowe, będące połączeniem technologii osadu czynnego i złoż biologicznego. Wybierając rodzaj oczyszczalni, należy uwzględnić następujące kryteria [6]:

- rodzaj obsługiwanego obiektu,
- powierzchnię działki,
- przepuszczalność gruntu i poziom wód gruntowych,
- wymagania w zakresie eksploatacji oczyszczalni,
- wrażliwość oczyszczalni na nierównomierność bądź okresowy brak dopływu ścieków,
- wrażliwość oczyszczalni na przerwy w dostawie bądź okresowy brak energii elektrycznej,
- odporność oczyszczalni na zamarzanie,
- efektywność oczyszczania,
- nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacji.

Choć nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacji wymienione zostały jako ostatnie, to one zwykle decydują o wyborze stosowanej technologii. Procedura przetargowa sprawia, iż dużą popularnością cieszą się projekty powtarzalne, tj. w jednej gminie buduje się wybrany rodzaj indywidualnych oczyszczalni ścieków. Z jednej strony, pozwala to utrzymać niższą cenę i umożliwia zapewnienie zewnętrznej eksploatacji, z drugiej zaś sprawia, że często są pomijane warunki lokalne, takie jak ilość ścieków, wielkość działki czy warunki gruntowo-wodne. Największe konsekwencje ma zaniechanie oceny warunków gruntowo-wodnych. Niewykonywanie prostego testu perkolacyjnego, pozwalającego na określenie przepuszczalności gruntu, lub też bardziej precyzyjnych odwiertów geologicznych, sprawia, iż ponosi się ryzyko zainwestowania w urządzenia i technologie, które w danych warunkach mogą nie przynieść efektu użytkowego.

## ASPEKTY TECHNOLOGICZNE BUDOWY INDYWIDUALNYCH OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W NIEKORZYSTNYCH WARUNKACH GRUNTOWO-WODNYCH

Szczegółnej uwagi wymaga sytuacja, w której grunt na działce jest nieprzepuszczalny i występuje wysoki poziom wód gruntowych. Niemożliwe jest wtedy zastosowanie wszelkich technologii drenażowych (oczyszczalni z drenażem rozsączającym, pakietami lub tunelami rozsączającymi). Nie należy też stosować systemów drenażowych ani studni chłonnych do odprowadzenia ścieków oczyszczonych w złożach piaskowych, hydrofitowych czy w oczyszczalniach kontenerowych. Jediną możliwość odprowadzenia ścieków oczyszczonych stanowi oczko wodne, w którym zachodzi parowanie.

Wysoki poziom wód gruntowych stwarza duże ryzyko wyparcia osadnika gnilnego, przepompowni i oczyszczalni kontenerowych. Konieczne jest więc ich posadowienie na płytach żelbetowych z hakami, do których za pomocą pasów mocujących kotwiczy się osadnik, przepompownię i oczyszczalnię kontenerowe.

Aby porównać konstrukcję oraz wielkość nakładów inwestycyjnych ponoszonych na budowę możliwych do zastosowania oczyszczalni w analizowanych warunkach posłużono się przykładem 5-osobowego gospodarstwa domowego znajdującego się na działce, na której występuje glina, a także płytkie wody gruntowe (2,0 m.p.p.t.). Średnia dobowo ilość ścieków wynosi  $Q_{\text{dśr}} = 0,5 \text{ m}^3/\text{d}$ , a maksymalna  $Q_{\text{dmax}} = 1,0 \text{ m}^3/\text{d}$ . Przyłącze kanalizacyjne jest wyprowadzone z budynku na głębokości 1,2 m p.p.t, co wymusza zastosowanie przepompowni wstępnej.

W niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych możliwe jest zastosowanie oczyszczalni z filtrem piaskowym, ze złożem hydrofitowym, ze złożem biologicznym, z sekwencyjnym reaktorem biologicznym i oczyszczalni hybrydowej. Ścieki oczyszczone mogą być odprowadzane do oczka wodnego. Osadnik gnilny, przepompownię i oczyszczalnię kontenerowe wymagają zabezpieczenia przed wyporem.

Oczyszczalnia z filtrem piaskowym składa się z przepompowni wstępnej, dwukomorowego osadnika gnilnego o pojemności  $2,5 \text{ m}^3$  z filtrem oraz przepompowni właściwej, zabezpieczonych przed wyporem. Za nimi znajduje się częściowo zagłębiony filtr piaskowy oraz oczko wodne. Filtr piaskowy zaprojektowano przyjmując powierzchnię  $5 \text{ m}^2$  na mieszkańca i następujący układ warstw (od dołu): folia PE, żwir płukany 16/32 (15 cm), geowłóknina, piasek płukany (70 cm), żwir płukany (40 cm) [5]. W górnej warstwie żwiru jest ułożony drenaż rozsączający połączony ze studzienką rozdzielającą z nadbudową, a w dolnej zbierający połączony ze studzienką zbiorczą z nadbudową. Końce obu drenaży są wentylowane.

Oczyszczalnia ze złożem hydrofitowym posiada takie same elementy jak oczyszczalnia z filtrem piaskowym, przy czym zamiast filtra piaskowego występuje złożo hydrofitowe o przepływie pionowym o powierzchni  $15 \text{ m}^2$ . Złożo to zaprojektowano przyjmując powierzchnię  $3 \text{ m}^2$  na mieszkańca i następujący układ warstw od dołu: folia PE, kamienie 60/100 (15 cm), żwir płukany 12,5–25 mm (30 cm), piasek (15 cm)

[3]. Złoże obsadzono trzcina pospolitą. Zastosowano analogiczną jak w przypadku oczyszczalni z filtrem pisakowym konstrukcję drenaży, studzienki z nadbudową i wentylację złoża.

Oczyszczalnia ze złożem biologicznym składa się z przepompowni wstępnej oraz reaktora złożonego z osadnika gnilnego i złoża biologicznego wraz z układem sterującym. Oczyszczalnię z reaktorem SBR tworzy przepompownia wstępna oraz zbiornik, w którym znajduje się osadnik gnilny i reaktor SBR wraz z układem sterującym. Oczyszczalnia hybrydowa składa się z przepompowni wstępnej, reaktora złożonego z osadnika gnilnego i zanurzonego złoża biologicznego z komorą aeracji wraz z układem sterującym.

## **ASPEKTY EKONOMICZNE BUDOWY INDYWIDUALNYCH OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W NIEKORZYSTNYCH WARUNKACH GRUNTOWO-WODNYCH**

Nakłady inwestycyjne na budowę oczyszczalni należy analizować w czterech kategoriach: materiały, robocizna, sprzęt i transport. Koszty materiałów zależą w dużej mierze od producenta, jakości wyrobu i posiadania aprobat technicznych, a także warunków zakupu. Dodatkowe koszty związane z budową oczyszczalni w niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych wynikają z konieczności zastosowania płyt dociążających i pasów mocujących. Podwyższają one nakłady inwestycyjne, zależnie od rodzaju oczyszczalni, od 7 do 21%.

Według danych pozyskanych od firmy wykonawczej, budowa oczyszczalni z filtrem piaskowym i ze złożem hydrofitowym wymaga 40 roboczogodzin, 16 godzin pracy koparki i transportu kruszywa. W przypadku oczyszczalni kontenerowych, można mówić o montażu, który zajmuje średnio 20 roboczogodzin i 8 godzin pracy koparki. Wymiar prac obejmuje również budowę oczka wodnego.

Koszty eksploatacji oczyszczalni pracujących w niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych nie różnią się od kosztów eksploatacji oczyszczalni wybudowanych w pozostałych warunkach. Na koszty eksploatacji oczyszczalni z filtrem piaskowym i ze złożem hydrofitowym składają się koszty energii elektrycznej pobieranej przez pompy w przepompowniach oraz wywozu osadów z osadnika gnilnego (1 na rok). Okresowe przeglądy i czyszczenie kosza filtracyjnego osadnika gnilnego mogą być wykonywane przez użytkownika oczyszczalni. W przypadku oczyszczalni kontenerowych na koszty eksploatacji składają się koszty: energii elektrycznej pobieranej przez pompę w przepompowni oraz przez oczyszczalnię, wywozu osadów z osadnika gnilnego (1 lub 2 na rok). Zaleca się także zlecenie okresowej zewnętrznej obsługi oczyszczalni, zapewniające uzyskanie wysokiego efektu oczyszczania. Zakres prac eksploatacyjnych zależy od zastosowanego urządzenia, przy czym w warunkach dużej nierównomierności dopływu, największej uwagi wymagają oczyszczalnie oparte o technologię osadu czynnego.

## METODYKA OCENY EFEKTYWNOŚCI KOSZTOWEJ

Analiza efektywności kosztowej ma na celu wybór najkorzystniejszego pod względem kosztowym rozwiązania technologicznego, przy założeniu wybranego stałego efektu użytkowego, np. ilości oczyszczanych ścieków. Pomija się przy tym pozostałe efekty inwestycji [7]. Wyboru najkorzystniejszego wariantu dokonuje się w oparciu o wybrany wskaźnik, np. oczekiwanego rocznego kosztu oczyszczania ścieków ( $K_r$ ). Zależy on od nakładów inwestycyjnych ( $I$ ), kosztów eksploatacji ( $K_e$ ), a także współczynnika zwrotu kapitału ( $\alpha$ ) [1]:

$$K_r = I\alpha + K_e \quad (1)$$

gdzie:  $K_r$  – oczekiwany roczny koszt oczyszczania ścieków [zł/rok],

$I$  – nakłady inwestycyjne [zł],

$\alpha$  – współczynnik odzysku kapitału [rok<sup>-1</sup>],

$K_e$  – koszty eksploatacji (bez amortyzacji) [zł/rok].

$$\alpha = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (2)$$

gdzie:  $\alpha$  – współczynnik zwrotu kapitału [rok<sup>-1</sup>],

$r$  – stopa dyskontowa [rok<sup>-1</sup>],

$n$  – kalkulacyjny okres eksploatacji [lata].

W analizie można wykorzystać również wskaźnik oczekiwanego jednostkowego kosztu rocznego ( $k_r$ ), obliczany jako:

$$k_r = \frac{K_r}{Q_r} \quad (3)$$

gdzie:  $k_r$  – oczekiwany jednostkowy koszt roczny [zł/m<sup>3</sup>/rok],

$Q_r$  – roczna ilość oczyszczanych ścieków [m<sup>3</sup>/rok].

Za najbardziej efektywny pod względem kosztowym uznaje się wariant charakteryzujący się najniższym oczekiwanym rocznym kosztem oczyszczania ścieków ( $K_r$ ). Przy założeniu stałego efektu użytkowego, najniższy będzie też odpowiadający mu koszt jednostkowy ( $k_r$ ).

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W tabeli 1 zestawiono wyniki obliczeń wielkości nakładów inwestycyjnych, rocznych kosztów eksploatacji i oczekiwanego rocznego kosztu oczyszczania w poszczególnych oczyszczalniach wybudowanych w niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych.

**Tabela 1.** Porównanie nakładów inwestycyjnych, kosztów eksploatacji i oczekiwanych rocznych kosztów oczyszczania ścieków w zależności od technologii (poziom cen z 2014 r.)

**Table 1.** Comparison of investment, operation and expected annual costs of wastewater treatment depending on the technology (2014 price level)

L.p.	Rodzaj oczyszczalni ścieków	Nakłady inwestycyjne	Roczne koszty eksploatacji	Oczekiwany koszt roczny	
				całkowity	jednostkowy
Oczyszczalnia:		[zł]	[zł/rok]	[zł/rok]	[zł/m <sup>3</sup> /rok]
1.	z filtrem piaskowym	12688	130	1145	5,36
2.	ze złożem hydrofitowym	11335	130	1037	4,85
3.	ze złożem biologicznym	14385	700	1851	8,67
4.	z reaktorem SBR	17733	1400	2819	13,20
5.	hybrydowa	15703	1000	2256	10,56

Do określenia nakładów inwestycyjnych przyjęto ceny katalogowe wybranych polskich producentów, których produkty mają wymagane aprobaty techniczne. Koszty i wymiar godzinowy pracy ludzi i sprzętu, a także koszty transportu kruszywa ustalono z firmą wykonawczą działającą na terenie województwa podlaskiego. W obliczeniach oczekiwanego rocznego kosztu oczyszczania ścieków założono jednakowy okres eksploatacji wszystkich oczyszczalni  $n = 20$  lat i stopę dyskontową  $r = 5\%$ .

W niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych można stosować oczyszczalnie z filtrem piaskowym, ze złożem hydrofitowym oraz oczyszczalnie kontenerowe, z odprowadzeniem ścieków oczyszczonych do oczka wodnego. Oczyszczalnie należy zabezpieczyć przed wyporem.

Najniższe nakłady inwestycyjne są ponoszone na budowę oczyszczalni ze złożem hydrofitowym, a najwyższe na zakup i montaż oczyszczalni z reaktorem SBR. Najniższe roczne koszty eksploatacji występują w przypadku oczyszczalni z filtrem piaskowym i ze złożem hydrofitowym. Najwyższe koszty eksploatacji, zapewniające uzyskanie wysokiego efektu oczyszczania poprzez zapewnienie zewnętrznej wyspecjalizowanej obsługi oczyszczalni, występują w przypadku oczyszczalni z reaktorem SBR i hybrydowej. Najniższym oczekiwanym rocznym kosztem oczyszczania ścieków charakteryzuje się oczyszczalnia ze złożem hydrofitowym, a najwyższym oczyszczalnia z reaktorem SBR.

Do podobnych wniosków dochodzą inni autorzy analizujący ogólne koszty budowy oczyszczalni, bez uwzględnienia warunków lokalnych [1, 4, 7, 9]. Obliczone w pracy oczekiwane jednostkowe roczne koszty oczyszczania ścieków są jednak znacząco wyższe od podawanych w literaturze. Może to wynikać z przyjęcia do analizy, zamiast wartości kosztorysowych, aktualnych rynkowych kosztów pracy ludzi i sprzętu oraz katalogowych cen urządzeń, a także zwykle pomijanych kosztów zewnętrznej eksploatacji oczyszczalni kontenerowych. Ponadto w ostatnich latach

coraz więcej zbiorczych oczyszczalni ścieków wprowadza wyższe stawki za przyjęcie osadu z osadników gnilnych w porównaniu do stawek odbioru nieczystości ciekłych ze zbiorników bezodpływowych. Czynnikiem ten również znacząco wpływa na wyniki analizy.

## WNIOSKI

Z przeprowadzonej analizy technologicznej i ekonomicznej zastosowania indywidualnych oczyszczalni ścieków w niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W przypadku występowania gruntów nieprzepuszczalnych i wysokiego poziomu wód gruntowych nie wolno stosować systemów drenażowych, zarówno jako urządzeń do biologicznego oczyszczalni ścieków, jak też układów odprowadzenia ścieków oczyszczonych. Możliwe do zastosowania są za to oczyszczalnie: z filtrem piaskowym, ze złożem hydrofitowym, ze złożem biologicznym, z komorą osadu czynnego (w tym też z reaktorem SBR), czy też oczyszczalnie hybrydowe. Konieczne jest przy tym zastosowanie płyt żelbetowych z hakami, do których za pomocą pasów mocujących kotwiczy się osadnik, przepompownie i oczyszczalnie kontenerowe.
2. W analizowanym przypadku, jedyną możliwością odprowadzenia ścieków oczyszczonych stanowi oczko wodne, w którym zachodzi parowanie.
3. Wyniki analizy efektywności kosztowej wskazują, iż najniższym oczekiwanym rocznym kosztem oczyszczania charakteryzuje się oczyszczalnia ze złożem hydrofitowym, a najwyższym oczyszczalnia z reaktorem SBR. Wyniki analizy mogą się różnić w przypadku przyjęcia innych modeli bądź warunków zakupu oczyszczalni, a także innych założeń w zakresie stawek pracy ludzi i wynajęcia sprzętu.

## Podziękowania

Praca finansowana ze środków projektu badawczego służącego rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich nr W/WBiŚ/4/2012.

## LITERATURA

1. Błażejowski R. 2003. Kanalizacja wsi, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań.
2. Boruszko D., Piotrowski P., Miłaszewski R. 2013. Ocena ekonomicznej efektywności komunalnej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoły. Rocznik Ochrony Środowiska 15, 1086–1097.

3. Environmental Protection Agency 2000. *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater. Manual*, EPA Report 625/R-99-010, Cincinnati, Ohio.
4. Heidrich Z., Stańko G. 2007. *Leksykon przydomowych oczyszczalni ścieków*. Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. z o.o., Warszawa.
5. Metcalf E. 1991. *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, Reuse*. Third Edition. McGraw Hill Inc.
6. Karolinczak B., Dąbrowski W., Boruszko D. 2013. Podstawa i zasadność stosowania indywidualnych systemów oczyszczania na terenach niezurbanizowanych. W: XI Ogólnopolska konferencja szkoleniowa: Gospodarka wodno-ściekowa na terenach niezurbanizowanych, Białystok, 55–58.
7. Kundzewicz A., Miłaszewski R. 2011. Analiza efektywności kosztowej indywidualnych systemów usuwania i oczyszczania ścieków. *Inżynieria Ekologiczna* 24, 174–183.
8. Sikorski M. 1998. *Gospodarowanie ściekami bytowymi na wsi jako czynnik ochrony środowiska*. Rozprawa habilitacyjna, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Zakład Sanitacji Wsi, Falenty.
9. Skoczko I. 2010. Economic analysis of options for sewage treatment plant. *Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przyr.* – OL PAN, 7, 5–11.
10. Wiater J. 2011. Ocena świadomości ekologicznej gminy Choroszcz. *Rocznik Ochrony Środowiska*, 13, 653–680.