

Rafał MIŁASZEWSKI

WYDZIAŁ BIOLOGII I NAUK O ŚRODOWISKU
UNIwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

EKONOMICZNE ZAGADNIENIA OCHRONY JAKOŚCI WÓD POWIERZCHNIOWYCH

ECONOMIC ISSUES OF SURFACE WATER QUALITY PROTECTION

The objective of the article was to discuss selected economic issues associated with surface water quality control. Results of the studies conducted by the Research Team on Water Supply and Water Control Economics, working in the Department of Technology in Engineering and Environmental Protection at the Technical University of Białystok were discussed in the article. The following economic issues related to activities in the area of surface water quality control, i.e. losses caused by surface water pollution, charges for wastewater discharge, impact of the type of developments on the choice of method for wastewater treatment and discharge, operating costs of rural municipal wastewater treatment plants and the cost-effectiveness of individual wastewater treatment and discharge systems. It was concluded that research on the costs of sewage sludge disposal, taking into account biogas economy, should be continued.

1. Wprowadzenie

Ważną rolę w działaniach związanych z ochroną jakości wód powierzchniowych odgrywają różnego rodzaju analizy ekonomiczne. Ramowa Dyrektywa Wodna [2] integruje zagadnienia ekonomiczne z całokształtem polityki wodnej Unii Europejskiej w następujących artykułach:

- analiza ekonomiczna wskazuje efektywne kosztowo programy działań niezbędne dla osiągnięcia celów środowiskowych Ramowej Dyrektywy Wodnej (artykuł 5 i Załącznik III),
- równowaga stanu zasobów wodnych możliwa jest dzięki właściwej polityce opłat za usługi wodne (artykuł 9).

Za usługi wodne w Ramowej Dyrektywie Wodnej uznano wszystkie usługi przeznaczone dla gospodarstw domowych, instytucji publicznych i innej działalności gospodarczej, które zapewniają:

- pobór, gromadzenie w zbiornikach, magazynowanie, uzdatnianie i dystrybucję wód powierzchniowych i podziemnych,
- zbieranie i oczyszczanie ścieków oraz ich odprowadzanie do wód powierzchniowych.

Podstawy analiz ekonomicznych związanych z oczyszczaniem ścieków zostały określone w Załączniku III Ramowej Dyrektywy Wodnej. Należy w nich uwzględniać dwie ekonomiczne zasady tej dyrektywy, czyli zasadę sprawca zanieczyszczenia płaci oraz zasadę zwrotu kosztów usług wodnych.

W ramach artykułu omówiono następujące ekonomiczne zagadnienia związane z działaniami w dziedzinie ochrony jakości wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem, czyli straty spowodowane zanieczyszczeniem wód powierzchniowych, opłaty za odprowadzanie ścieków, wpływ rodzaju zabudowy na wybór sposobu oczyszczania i odprowadzania ścieków, koszty eksploatacji wiejskich komunalnych oczyszczalni ścieków oraz efektywność kosztową indywidualnych systemów oczyszczania i odprowadzania ścieków. W artykule wykorzystano rezultaty badań wykonanych przez Zespół Badawczy Ekonomiki Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Wód, działający w ramach Katedry Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska Politechniki Białostockiej.

2. Straty spowodowane zanieczyszczeniem wód powierzchniowych

Metodykę kompleksowego szacowania strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych opracował zespół kierowany przez Symonowicza [18]. Uwzględniono następujące rodzaje strat, czyli: straty z tytułu dodatkowych kosztów uzdatniania nadmiernie zanieczyszczonych wód powierzchniowych pobieranych przez gospodarkę komunalną i przemysł, koszty przerzutów czystej wody w warunkach, gdy lokalne zasoby wodne są nadmiernie zanieczyszczone, straty w gospodarce rybnej, straty w sferze rekreacji i turystyki wodnej, straty z tytułu korozji budowli i urządzeń wodnych, straty związane ze zmniejszeniem zdolności wód do samooczyszczania oraz straty surowców odprowadzanych w ściekach. W całkowitych stratach spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych największy udział, wynoszący ponad 21%, mają straty spowodowane dodatkowymi kosztami uzdatniania nadmiernie zanieczyszczonych wód powierzchniowych ujmowanych dla potrzeb gospodarki komunalnej i przemysłu. Do szacowania wielkości strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych stosuje się następujące metody kosztowe [13].

- metodę restytucyjną,
- metodę substytucyjną,
- metodę wskaźnikową.

Metoda restytucyjna jest oparta na założeniu, że straty powstające na skutek zanieczyszczenia środowiska wodnego są równe wielkości nakładów niezbędnych do odtworzenia zdegradowanego zasobu lub waloru tego środowiska poprzez przywrócenie społecznie pożądanej ilości i jakości tego elementu. Straty takie powstają na przykład w stawach rybnych napelnianych wodą o niewłaściwej jakości, gdyż ryby hodowane w takich warunkach nie nadają się do konsumpcji.

W metodzie substytucyjnej miernikiem strat są koszty pozyskania w innym miejscu utraconego elementu środowiska wodnego lub koszty budowy i eksploatacji urządzeń mogących spełniać identyczną funkcję, co utracony element środowiska wodnego. Przykładowo, jeżeli lokalne zasoby wodne są tak zanieczyszczone, że nie nadają się do gospodarczego wykorzystania, trzeba wówczas sięgnąć po dalej położone zasoby wody czystej. Nakłady inwestycyjne na takie przrzuty i koszty eksploatacji obiektów i urządzeń używanych do przrzutu wody określają wysokość strat z tytułu zanieczyszczenia lokalnych zasobów.

Metoda wskaźnikowa stanowi swoistą kompilację wszystkich metod szacowania strat ekologicznych. Jej istota polega na wykorzystaniu empirycznych oszacowań strat ekologicznych uzyskanych w warunkach porównywalnych lub uśrednionych.

Adaptacja tych oszacowań jest możliwa dzięki określeniu wskaźników jednostkowych strat ekologicznych. Informują one o wielkości przeciętnej straty przypadającej na jednostkę naturalną, czyli m^3 , ha, jednego zatrudnionego bądź wyrażonej procentowo.

Pośród opisanych metod kosztowych, jako instrumentu ekonomicznego w ochronie jakości wód, używa się metody wskaźnikowej. Określone za pomocą tej metody straty należy, zgodnie z zasadą sprawca zanieczyszczenia płaci, przenieść do systemu ekonomiczno-finansowego przedsiębiorstwa. To przeniesienie jest dokonywane za pomocą opłat za odprowadzanie ścieków i nazywa się internalizacją. Jednostkowe straty spowodowane zanieczyszczeniem wód powierzchniowych stanowią podstawę do ustalania stawek opłat za odprowadzanie ścieków.

3. Zastosowania metody wskaźnikowej do szacowania strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych

Metoda wskaźnikowa została zastosowana do określenia ogólnokrajowego wskaźnika jednostkowych strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych ładunkiem substancji organicznych. Ładunek ten został określony za pomocą wskaźnika BZT5. Na potrzeby określenia orientacyjnej wartości tego wskaźnika strat (dla poziomu cen z 2010 roku) przyjęto, na podstawie literatury [12], następujące założenia:

- całkowite straty powodowane zanieczyszczeniem środowiska w 2010 roku stanowią 2% PKB [4], czyli $0,02 \cdot 1415,4 \text{ mld zł/rok} = 28,31 \text{ mld zł/rok}$;
- straty powodowane zanieczyszczeniem wód powierzchniowych stanowią 15% całkowitych strat powodowanych zanieczyszczeniem środowiska [13], czyli $0,15 \cdot 28,31 \text{ mld zł/rok} = 4,25 \text{ mld zł/rok}$;
- straty powodowane przez rzuty ścieków ze źródeł punktowych stanowią 70% całkowitych strat powodowanych zanieczyszczeniem zasobów wodnych, a pozostałe 30% strat jest powodowane przez źródła obszarowe [13], czyli $0,7 \cdot 4,25 \text{ mld zł/rok} = 2,97 \text{ mld zł/rok}$;
- ilość ścieków nieoczyszczonych oraz niedostatecznie oczyszczonych (tylko w sposób mechaniczny) wyniosła w 2010 roku 719,4 mln m^3 [14].

Po uwzględnieniu przyjętych założeń orientacyjną wartość ogólnokrajowego wskaźnika jednostkowych strat (s), powodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych ze źródeł punktowych, można obliczyć w następujący sposób:

$$s = \frac{2970m \ln / rok}{719,4m \ln m^3 / rok} = 4,13 \text{ zł/m}^3 \quad (1)$$

Przyjmując średnie stężenie wskaźnika BZT5 dla ścieków miejskich równe $0,350 \text{ kg O}_2/\text{m}^3$, ogólnokrajowy wskaźnik jednostkowych strat (s) można wyrazić w następujący sposób:

$$s = 11,80 \text{ zł/kg O}_2 \quad (2)$$

Wskaźnik (s) umożliwia orientacyjne oszacowanie wielkości strat spowodowanych odprowadzaniem, ze źródeł punktowych, ścieków nieczyszczonych lub oczyszczonych w niedostatecznym stopniu.

Stosowana w 2010 roku stawka opłaty za odprowadzanie ze ściekami ładunku zanieczyszczeń wynosząca $3,69 \text{ zł/kg O}_2$ [13] stanowiła 31% wartości ogólnokrajowego wskaźnika jednostkowych strat spowodowanych odprowadzaniem do wód powierzchniowych 1 kg zanieczyszczeń mierzonych wskaźnikiem BZT5. Według badań Instytutu Ochrony Środowiska ta relacja w 2000 roku wynosiła tylko 12% [5]. Oznacza to wzrost stopnia pokrycia jednostkowych strat przez stawkę opłaty za odprowadzanie ścieków z 12% do 31%. Jest to tendencja zgodna z, podawaną w Ramowej Dyrektywie Wodnej [2], zasadą zwrotu kosztów usług wodnych. Opłaty za odprowadzanie ścieków stanowią składnik ceny płaconej za usługi kanalizacyjne. Według badań prowadzonych przez Zespół Badawczy Ekonomiki Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Wód Politechniki Białostockiej udział opłat za odprowadzanie ścieków w cenie usług kanalizacyjnych ponoszonych przez przedsiębiorstwo wodociągowo-kanalizacyjne waha się w granicach 3-5% [16].

4. Opłaty za odprowadzanie ścieków

Ekwiwalent wartości strat ekonomicznych i społecznych ponoszonych przez gospodarkę i społeczeństwo, wskutek pogorszenia jakości zasobów wodnych, stanowią opłaty za odprowadzanie ścieków. Należy je uznać za aktualnie najważniejszy instrument ekonomiczny, umożliwiający wdrażanie jednej z podstawowych zasad ekorozwoju, a mianowicie zasady sprawcy zanieczyszczenia płacą. Oznacza ona finansową odpowiedzialność wszystkich użytkowników środowiska wodnego za skutki jego zanieczyszczenia.

Opłaty powinny pełnić dwie funkcje:

- funkcję dochodotwórczą (funduszową),
- funkcję bodźcową (stymulacyjną).

Niezależnie od wysokości stawek, opłaty spełniają zwykle pierwszą z wymienionych funkcji.

Istotnym celem stosowania opłat jest uzyskanie zgodności pomiędzy racjonalnością makroekonomiczną i mikroekonomiczną w taki sposób, aby przedsięwzięcia w dziedzinie ochrony jakości wód, racjonalne ze społecznego punktu widzenia, były równocześnie opłacalne dla poszczególnych jednostek gospodarczych, które mają ponosić nakłady na ich realizację. W systemie ekonomicznym przedsiębiorstwa opłaty są alternatywnym rozwiązaniem dla kosztów budowy i eksploatacji oczyszczalni ścieków. Alternatywnym wobec opłaty kosztem nie jest, operując językiem potocznym, „koszt budowy oczyszczalni” (czyli nakład inwestycyjny), ale całkowity roczny koszt oczyszczania ścieków.

Żeby opłaty mogły spełniać funkcję stymulującą przedsiębiorstwa do podejmowania inwestycji w dziedzinie ochrony jakości wód, ich stawki powinny być ustalane na takim poziomie, aby wielkość redukcji opłat płaconych przez przedsiębiorstwa, spowodowana uruchomieniem oczyszczalni ścieków, była równa lub większa od kosztów jej funkcjonowania. Warunek ten można zapisać za pomocą nierówności:

$$O \geq O_p + A + K_e \quad (3)$$

gdzie:

- O - roczna redukcja opłat za odprowadzanie ścieków, zł/rok,
- O_p - roczne koszty oprocentowania kapitału, zł/rok,
- A - roczne koszty amortyzacji, zł/rok,
- K_e - roczne operacyjne koszty eksploatacji oczyszczalni ścieków, zł/rok.

Warunek (3) można przedstawić również za pomocą stawki opłat za odprowadzanie ścieków oraz jednostkowych kosztów redukcji zanieczyszczeń zawartych w ściekach, a mianowicie:

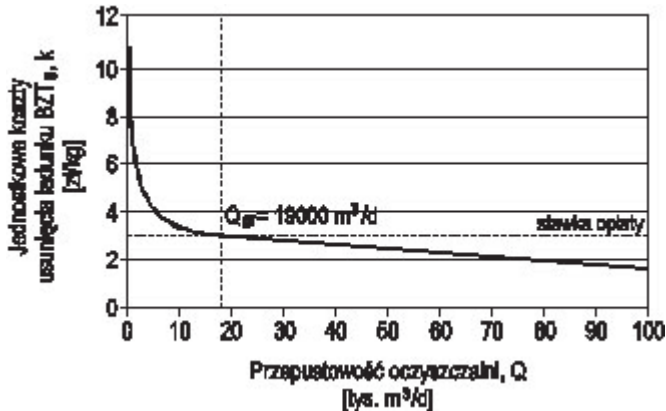
$$o \geq k \quad (4)$$

gdzie:

- o - stawka opłat za 1 kg ładunku zanieczyszczeń odprowadzanych ze ściekami, zł/kg,
- k - jednostkowe koszty usunięcia zanieczyszczeń ze ścieków, zł/kg.

Powyższy warunek będzie spełniony przy odpowiednio wysokim poziomie opłat za odprowadzanie ścieków. Tutaj powstaje pewne niebezpieczeństwo dla przedsiębiorstw będących użytkownikami środowiska i ponoszących z tego tytułu odpowiednie opłaty. Z jednej strony – podwyższenie stawek opłat powoduje, że stają się one lepszym stymulatorem dla przedsiębiorstw do podejmowania inwestycji w dziedzinie ochrony wód, co kreuje popyt na technologie i urządzenia do oczyszczania ścieków, stwarzając w ten sposób możliwości ich sprzedaży przez przedsiębiorstwa będące ich producentami. Z drugiej strony - wysokie stawki opłat za odprowadzanie ścieków zwiększają koszty funkcjonowania przedsiębiorstwa, rzutując potem na ceny jego wyrobów i usług, a z kolei ceny wyrobów i usług rzutują na sytuację tego przedsiębiorstwa na rynku i na jego konkurencyjność.

Przykładową zależność jednostkowych kosztów (k) usunięcia ładunku BZT5 od przepustowości oczyszczalni (Q) przedstawiono na rysunku 1, na którym zaznaczono również poziom stawki opłaty za 1 kg ładunku BZT5 odprowadzanego ze ściekami.



Źródło: opracowanie własne.

Rys. 1. Zależność jednostkowych kosztów usunięcia ładunku BZT5 od przepustowości oczyszczalni ścieków [13]

Fig. 1. Relationship between unit costs of the BOD load removal and wastewater treatment plant capacity

Jak wynika z zależności przedstawionej na rysunku 1 dla oczyszczalni ścieków o przepustowościach większych od 19 000 m³/d, jednostkowe koszty usunięcia ładunku BZT5 są niższe od stawki opłat za ładunek BZT5 odprowadzany w ściekach. Tak więc dla oczyszczalni ścieków o przepustowościach większych od 19 000 m³/d jest spełniony warunek określony za pomocą nierówności (4), co oznacza wypełnienie bodźcowej funkcji opłat za odprowadzanie ścieków. Spełnienie warunku (4) dla oczyszczalni o przepustowości poniżej 19 000 m³/d wymagałoby podwyższenia stawki opłat za odprowadzanie ścieków.

5. Wpływ rodzaju zabudowy na wybór sposobu oczyszczania i odprowadzania ścieków na terenie danej gminy

Przy wyborze sposobu oczyszczania i odprowadzania ścieków na terenie danej gminy [6], w zależności od rodzaju zabudowy, można się posługiwać następującymi wskaźnikami, czyli:

- wskaźnik długości sieci kanalizacyjnej przypadającej na 1 mieszkańca (Mk), wyrażony w m/Mk;
- wskaźnik długości sieci kanalizacyjnej przypadającej na 1 gospodarstwo, wyrażony w m/gospodarstwo;
- wskaźnik liczby mieszkańców przypadającej na 1 km sieci kanalizacyjnej (wskaźnik zagęszczenia mieszkańców), wyrażony w Mk/km.

Rodzaj zabudowy na terenie danej gminy, to znaczy czy ma ona charakter zabudowy zwartej czy rozproszonej, wpływa na wielkość tych wskaźników.

Wskaźnik długości sieci kanalizacyjnej, przypadającej na 1 mieszkańca, maleje w przypadku zabudowy zwartej, natomiast rośnie w przypadku zabudowy rozproszonej. Wzrost wielkości tego wskaźnika oznacza również wzrost wielkości jednostkowego wskaźnika kosztów budowy sieci kanalizacyjnej na terenach o zabudowie rozproszonej. W tej sytuacji, na terenach o zabudowie rozproszonej ekonomicznie uzasadnione jest stosowanie indywidualnych systemów oczyszczania i odprowadzania ścieków, w tym przydomowych oczyszczalni ścieków.

Dotychczasowe analizy wskazują, że najtańsze krajowe, przydomowe oczyszczalnie ścieków są ekonomicznie uzasadnione wtedy, gdy średnia długość grawitacyjnego kolektora kanalizacyjnego, przypadającego na 1 gospodarstwo, przekracza kilkanaście metrów. Przy zastosowaniu kanalizacji ciśnieniowej długość ta może wzrosnąć nawet kilkakrotnie [6].

Zwykle władze gminy rozważają dwa sposoby rozwiązania problemu gospodarki wodnościekowej, a mianowicie budowę sieci kanalizacyjnej lub budowę przydomowych oczyszczalni ścieków. Budowa przydomowych oczyszczalni ścieków na terenach o rozproszonej zabudowie jest zgodna z zaleceniem Unii Europejskiej, wskazującym na konieczność stosowania rachunku ekonomicznego przy wyborze sposobu odprowadzania i oczyszczania ścieków na terenie gminy.

Budowa i eksploatacja kanalizacji zbiorczej, na terenach o zabudowie rozproszonej, może się przyczynić do wzrostu тариф za usługi kanalizacyjne. Latawiec [11] analizował to zagadnienie na przykładzie około 50 inwestycji kanalizacyjnych realizowanych na terenie gmin wiejskich położonych w południowej Małopolsce. W rezultacie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że jeżeli wskaźnik zagęszczenia mieszkańców wynosi 50-70 Mk/km, to obliczeniowa taryfa kształtuje się na poziomie 15-20 zł/m³. Jeżeli wskaźnik zagęszczenia mieszkańców wynosi 80-110 Mk/km, to obliczeniowa taryfa kształtuje się na poziomie ok. 10 zł/m³. Jeżeli wskaźnik zagęszczenia mieszkańców wzrośnie do 120 Mk/km lub powyżej, to obliczeniowa taryfa będzie wynosiła poniżej 10 zł/m³. Tak więc im wyższy wskaźnik zagęszczenia mieszkańców, tym niższa taryfa.

Zgodnie ze wspomnianym zaleceniem Unii Europejskiej na terenach, gdzie wskaźnik zagęszczenia mieszkańców jest mniejszy niż 120 Mk/km należy budować przydomowe oczyszczalnie ścieków zamiast zbiorczych systemów odprowadzania i oczyszczania ścieków.

Praktycznym przykładem stosowania tego zalecenia może być budowa przydomowych oczyszczalni ścieków na terenie gminy Aleksandrów w województwie łódzkim. W tabeli 1 dokonano porównania nakładów inwestycyjnych na dwa rodzaje technologii oczyszczania ścieków, czyli kanalizację zbiorczą oraz przydomowe oczyszczalnie ścieków.

Tabela 1. Porównanie jednostkowych nakładów inwestycyjnych na kanalizację zbiorczą i oczyszczalnię przydomową [19]

Table. 1. Comparison of unit investment outlays on the common sewerage system and the on-site water treatment system

Lp.	Rodzaj technologii oczyszczania ścieków	Nakłady inwestycyjne na jednego mieszkańca w funkcji odległości od urządzenia (zł)				
		5 m	50 m	100 m	150 m	200 m
1.	Kanalizacyjna zbiorcza	437,50	4375,00	8750,00	13220,50	17500,0
2.	Oczyszczalnia przydomowa	3437,50				

Jak wynika z porównania dokonanego w tabeli 1 już przy odległości działki od sieci kanalizacji zbiorczej większej niż 40 m wskaźnik nakładów inwestycyjnych przypadających na 1 mieszkańca jest wyższy od wielkości tego wskaźnika dla kanalizacji zbiorczej. Stąd wniosek, że dla odległości działki od sieci kanalizacyjnej większej niż 40 m kanalizacja zbiorcza jest nieefektywna pod względem ekonomicznym.

6. Koszty eksploatacji wiejskich komunalnych oczyszczalni ścieków

Przy określeniu wielkości kosztów eksploatacji wiejskich komunalnych oczyszczalni ścieków zastosowano podejście deterministyczne do analizy kosztów. Zalecane przez niektórych autorów [1] i agendy Unii Europejskiej [3] podejście probabilistyczne można zastosować w przypadku większego zbioru danych oraz ich korzystnego rozkładu (rozkład normalny reszt na odpowiednio przetransformowanej skali, niezależność reszt od wartości dopasowanych). Zastosowanie podejścia deterministycznego pozwala, w sposób orientacyjny, oszacować koszty oczyszczania ścieków. Na etapie studium możliwości dokładność oszacowania kosztów wynosi $\pm 30\%$, na etapie studium wstępnego $\pm 20\%$, a na etapie studium wykonalności $\pm 10\%$. Taka dokładność jest wystarczająca na etapie podejmowania wstępnych decyzji inwestycyjnych [17].

W tabeli 2 przedstawiono dane dotyczące rocznych kosztów eksploatacji wiejskich komunalnych oczyszczalni ścieków (bez amortyzacji).

Tabela 2. Całkowite i jednostkowe roczne koszty eksploatacji (bez amortyzacji) wiejskich komunalnych oczyszczalni ścieków [8]

Table. 2. Annual total and unit costs (without depreciation) of municipal wastewater treatment plants in rural areas

Rodzaj kosztu	Jednostka	Min	Max	Średnia
Całkowite roczne koszty eksploatacji	zł/rok	9 962	604 205	263 524
- stałe	zł/rok	5 814	307 963	121 856
- zmienne	zł/rok	4 148	296 242	141 668
Jednostkowe roczne koszty eksploatacji	zł/m ³ /rok	3,96	7,43	5,36
- stałe	zł/m ³ /rok	0,73	3,81	2,49
- zmienne	zł/m ³ /rok	1,14	4,04	2,87

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych udostępnione przez urzędy gmin i zakłady gospodarki komunalnej

Funkcja całkowitych rocznych kosztów eksploatacji (bez amortyzacji) w zależności od przepustowości wiejskich komunalnych oczyszczalni ścieków przyjmuje postać (poziom cen z 2011 r.):

$$K_e = 2963 \cdot Q^{0,90} \quad [\text{zł/rok}] \quad (5)$$

gdzie:

K_e - całkowite roczne koszty eksploatacji (bez amortyzacji) [zł/rok]

Q - ilość oczyszczanych ścieków [m³/d]

Wartość współczynnika determinacji modelu ($R^2=0,9733$), a także p-wartości wyznaczonych współczynników (dla $a=0,002$, dla $b=0,002$) pozwalają na przyjęcie opracowanego modelu.

Funkcja jednostkowych rocznych kosztów eksploatacji (bez amortyzacji) w zależności od przepustowości dla wiejskich komunalnych oczyszczalni ścieków przyjmuje postać (poziom cen z 2011 r.):

$$k_e = 14,26 \cdot Q^{-0,10} \quad [\text{zł/m}^3/\text{rok}]$$

gdzie:

k_e - jednostkowe roczne koszty eksploatacji (bez amortyzacji) [zł/m³/rok]

Q - ilość oczyszczanych ścieków [m³/d]

Wartość współczynnika determinacji modelu ($R^2=0,2889$) jest znacznie gorsza od współczynnika opisującego zależność całkowitych kosztów eksploatacji od przepustowości oczyszczalni. W praktyce zaleca się więc wykorzystywanie zależności (8) do określania wielkości całkowitych kosztów eksploatacji.

W tabeli 3 przedstawiono strukturę kosztów eksploatacji (bez amortyzacji) analizowanych wiejskich komunalnych oczyszczalni ścieków.

Tabela 3. Struktura rocznych kosztów eksploatacji (bez amortyzacji) wiejskich komunalnych oczyszczalni ścieków (7)

Table. 3. Structure of annual operating costs (without depreciation) of municipal wastewater treatment plants in rural areas

L.p.	Rodzaj kosztu	Min [%]	Max [%]	Średnia [%]
Koszty stałe		18,5	72,0	46,0
1.	Wynagrodzenia wraz z pochodnymi	18,5	49,2	35,5
2.	Delegacje i ryczałty	0,4	1,3	0,8
3.	Podatki i opłaty	1,8	21,4	10,3
4.	Pozostałe koszty	0,4	25,4	9,0
Koszty zmienne		28,0	81,5	54,0
5.	Materiały i remonty	1,6	53,5	15,2
6.	Opłaty ekologiczne	0,5	15,3	2,6
7.	Energia elektryczna	18,8	39,4	26,8
8.	Usługi obce	0,0	47,8	9,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych udostępnione przez urzędy gmin i zakłady gospodarki komunalnej

W przypadku wiejskich komunalnych oczyszczalni ścieków zauważa się, iż średni udział kosztów stałych i zmiennych w rocznych kosztach eksploatacji jest podobny i wynosi odpowiednio 46% i 54%. Największy średni udział w rocznych kosztach eksploatacji mają wynagrodzenia wraz z pochodnymi (35,5%) oraz energia elektrycznej (26,8%). Jako kolejny znaczący składnik kosztów należy wymienić materiały i remonty (15,2%). W przypadku większych oczyszczalni relacje tych kosztów są inne, bardziej znaczący udział mają koszty energii elektrycznej oraz koszty materiałów i remontów.

Gospodarka osadami ściekowymi w komunalnych oczyszczalniach ścieków może być traktowana jako wydzielona działalność w przedsiębiorstwie wodociągowo-kanalizacyjnym. Stanowi ona jeden z elementów całej usługi zbiorowego odprowadzania i oczyszczania ścieków. Ażeby uwzględnić wszystkie składniki kosztów związanych ze świadczeniem tej usługi należy je uwzględnić w kalkulacyjno-funkcjonalnym układzie kosztów w przedsiębiorstwie wodociągowo-kanalizacyjnym. Analizy kosztów określonych dla różnych technologii stosowanych w gospodarce osadowej zostały przedstawione w publikacji opracowanej przez Wójtowicza [20] dla Izby Gospodarczej „Wodociągi Polskie”.

Dla przykładowej oczyszczalni ścieków o wielkości 50.000 RLM, porównano operacyjne koszty suszenia osadów ściekowych dla dwóch wariantów technologicznych, a mianowicie wariantu z kotłownią i wariantu z kogeneracją. Korzystniejszy rezultat otrzymano dla wariantu z kogeneracją, w którym każdą tona osadu odwodnionego poddanego procesowi suszenia przynosi około 25 zł dla operatora suszarni, ze względu na uniknięcie kosztów zakupu energii elektrycznej oraz dochody pochodzące ze sprzedaży jej nadwyżki do sieci zewnętrznej [7].

7. Analiza efektywności kosztowej

Analiza efektywności kosztowej (*Cost-Effectiveness Analysis* - CEA) stanowi modyfikację analizy kosztów i efektów. Ma ona na celu wybór najkorzystniejszego, pod względem kosztowym, rozwiązania technologicznego, przy założeniu wybranego stałego efektu użytkowego, na przykład ilości oczyszczanych ścieków.

Wyboru najkorzystniejszego wariantu dokonuje się w oparciu o wybrany wskaźnik. Wskaźnik ten powinien zależeć od wielkości nakładów inwestycyjnych, kosztów eksploatacji, a także stopy dyskontowej i stopy amortyzacji. Powyższe warunki spełnia wskaźnik średniorocznego kosztu oczyszczania ścieków (annualized cost of wastewater treatment).

W sposób uproszczony, na etapie, gdy nie jest znany rozkład wielkości nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji w poszczególnych latach realizacji i eksploatacji inwestycji, średni roczny koszt oczyszczania ścieków można przedstawić jako sumę oprocentowania kapitału, amortyzacji i rocznych kosztów eksploatacji [8]:

$$K_r = I(r + s) + K_e \quad (7)$$

gdzie:

K_r - roczny koszt oczyszczania ścieków [zł/rok],

I - nakłady inwestycyjne na budowę oczyszczalni ścieków [zł],

r - stopa oprocentowania [rok-1],

s - stopa amortyzacji [rok-1],

K_e - roczne koszty eksploatacji oczyszczalni ścieków (bez amortyzacji) [zł/rok].

Występująca w zależności (7) stopa amortyzacji (s) może zostać zapisana jako:

$$s = \frac{r}{(1+r)^n - 1} \quad (8)$$

gdzie:

n - kalkulacyjny okres eksploatacji, wyrażony w latach.

Po podstawieniu zapisu (8) do zależności (7) otrzymuje się:

$$K_r = I \left(r + \frac{r}{(1+r)^n - 1} \right) + K_e \quad (9)$$

Do dalszych przekształceń przyjmujemy zależność określającą współczynnik odzysku kapitału (α), czyli:

$$\alpha = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (10)$$

Po podstawieniu zależności (10) wzór (9) można zapisać w następującej postaci:

$$K_r = I \cdot \alpha + K_e \quad (11)$$

Stąd jednostkowy roczny koszt oczyszczania ścieków można określić za pomocą wzoru:

$$k_r = \frac{I \cdot \alpha + K_e}{W} \quad (12)$$

gdzie:

kr - jednostkowy roczny koszt oczyszczania ścieków [zł/m³],

W - efekt użytkowy określony np. za pomocą ilości oczyszczonych ścieków [m³/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 (kr).

Jednostkowe nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacji mogą być stosowane jako wskaźniki pomocnicze w rachunku ekonomicznej efektywności inwestycji w dziedzinie oczyszczania ścieków.

8. Analiza porównawcza efektywności kosztowej indywidualnych systemów oczyszczania i odprowadzania ścieków

W analizie techniczno-ekonomicznej projektów indywidualnych systemów oczyszczania i odprowadzania ścieków stosuje się zwykle analizę efektywności kosztowej.

W ramach prac Zespołu Badawczego Ekonomiki Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Wód Politechniki Białostockiej przeprowadzono analizę porównawczą wielkości ekonomicznych wskaźników określonych dla różnych rodzajów indywidualnych systemów do gromadzenia i oczyszczania ścieków.

Nakłady inwestycyjne na budowę wybranych indywidualnych systemów usuwania i oczyszczania ścieków oraz koszty ich eksploatacji zostały określone na podstawie informacji uzyskanych od producentów lub dostawców tych urządzeń. Przy wykonywaniu obliczeń dla wszystkich rozpatrywanych rodzajów urządzeń przyjęto jednakowy efekt użytkowy określony średnią dobową ilością gromadzonych i oczyszczanych ścieków wynoszącą $Q_{dśr} = 0,75 \text{ m}^3/\text{d}$. Wielkość ta odpowiada przepustowości przydomowej oczyszczalni ścieków przyjmującej ścieki bytowe od 5 mieszkańców przy średnim jednostkowym zużyciu wody $150 \text{ dm}^3/\text{M}/\text{d}$. Dla wszystkich typów przydomowych oczyszczalni ścieków założono ten sam stopień redukcji BZT₅, wynoszący 95% [10].

Do obliczenia wielkości współczynnika zwrotu kapitału przyjęto dla analizowanych indywidualnych systemów usuwania i oczyszczania ścieków stopę dyskontową, a przewidywany okres eksploatacji tych systemów lat. Wówczas otrzymuje się współczynnik zwrotu kapitału, $\alpha = 0,08$

Wielkości oczekiwanych, całkowitych rocznych, miesięcznych oraz jednostkowych kosztów indywidualnych systemów do gromadzenia lub oczyszczania ścieków zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Zestawienie oczekiwanych, całkowitych rocznych, miesięcznych oraz jednostkowych kosztów przydomowych urządzeń do gromadzenia i oczyszczania ścieków (poziom cen z 2010 roku) [10]

Table. 4. Comparison of the expected, total annual, monthly and unit costs of on-site wastewater disposal and treatment equipment (2010 price level)

Rodzaj urządzenia do gromadzenia lub oczyszczania ścieków	Nakłady inwestycyjne	Roczne koszty eksploatacji	Oczekiwany koszt całkowity		
	I [zł]	K_e [zł/rok]	roczny K_r [zł/rok]	miesięczny [zł/m-c]	jednostkowy [zł/m ³ /rok]
Zbiornik bezodpływowy EURO – PLAST	4992,00	3120,00	3544,32	295,36	12,86
Osadnik gnilny trójkomorowy z drenażem rozsączającym ATLANTIS 2000	3000,00	150,00	405,00	33,75	1,42
Oczyszczalnia zblokowana ze złożem biologicznym BIOCLERE	8000,00	170,00	850,00	70,83	2,96
Oczyszczalnia zblokowana z komorą osadu czynnego PROX AT 6	7500,00	334,00	971,50	80,95	3,41
Oczyszczalnia gruntowo – roślinna IBMER	5000,00	100,00	525,00	43,75	1,83

Jak wynika z tabeli 4 najniższe nakłady inwestycyjne są ponoszone przy budowie osadnika gnilnego trójkomorowego z drenażem rozsączającym typu ATLANTIS 2000. Niską wartością nakładów inwestycyjnych charakteryzują się również zbiornik bezodpływowy typu EURO-PLAST oraz oczyszczalnia gruntowo-roślinna typu IBMER.

Najwyższe nakłady inwestycyjne trzeba ponieść przy budowie oczyszczalni zablokowanych ze złożami biologicznymi lub komorami z osadem czynnym typu BIOCLERE oraz PROX AT 6. Nakłady inwestycyjne na oczyszczalnie zablokowane są o 47-64% wyższe niż na oczyszczalnię gruntowo-roślinną typu IBMER.

Najniższe koszty eksploatacji odnotowano w przypadku oczyszczalni gruntowo-roślinnej typu IBMER. Również niskimi kosztami eksploatacji charakteryzuje się osadnik gnilny trójkomorowy z drenażem rozsączającym typu ATLANTIS.

Roczne koszty eksploatacji zablokowanych oczyszczalni ścieków ze złożem biologicznym i drenażem rozsączającym są około 2-3 razy wyższe niż koszty eksploatacji oczyszczalni gruntowo-roślinnej oraz osadnika gnilnego.

Najwyższy roczny koszt eksploatacji stwierdzono w przypadku zbiornika bezodpływowego typu EURO-PLAST. Jest on ponad trzydziestokrotnie wyższy niż koszt eksploatacji oczyszczalni gruntowo-roślinnej typu IBMER. Wynika to z konieczności częstego opróżniania tego rodzaju zbiornika i transportowania ścieków taborem asenizacyjnym do najbliższych komunalnych oczyszczalni ścieków.

Najtańszym z pięciu porównywanych w tabeli 1 urządzeń okazał się osadnik gnilny trójkomorowy z drenażem rozsączającym typu ATLANTIS 2000 oraz oczyszczalnia gruntowo-roślinna typu IBMER.

9. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych w artykule analiz możliwe było sformułowanie następujących wniosków

1. Obecny poziom stawek opłat za odprowadzanie ścieków pozwala na pokrycie jednostkowych strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych tylko w granicach 30 -35%.
2. Przy podnoszeniu stawek opłat za odprowadzanie ścieków w celu spełnienia bodźcowej funkcji opłat należy brać pod uwagę konsekwencje tego działania w odniesieniu do kosztów funkcjonowania przedsiębiorstwa i jego konkurencyjności.
3. Gromadzenie danych w zakresie kosztów eksploatacji oczyszczalni ścieków powinno być prowadzone systematycznie, aby uzyskać poprawę wiarygodności i miarodajności opracowanych na ich podstawie wskaźników.
4. Należy prowadzić dalsze prace nad kosztami stosowania różnych technologii unieszkodliwiania osadów ściekowych, ze szczególnym uwzględnieniem technologii stosujących kogenerację.

Bibliografia

- 1) Błażejowski R., *Ekonomika zaopatrzenia w wodę*, Wodociągi i Kanalizacja, 2009, nr 5 (63), s. 24.
- 2) Dyrektywa 2000/60/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23.10.2000 roku w sprawie ustanowienia ram działalności Wspólnoty w dziedzinie polityki wodnej, art. 4, 8, 5.
- 3) *European Commission, Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects, Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*, 2014.
- 4) Famielec J. i in., *Straty gospodarcze spowodowane zanieczyszczeniem środowiska naturalnego w Polsce w warunkach transformacji gospodarczej*, Część 1, Akademia Ekonomiczna w Krakowie, Katedra Polityki Przemysłowej i Ekologicznej, 2001, Kraków.
- 5) Graczyk A. i in., *Analiza porównawcza poziomu opłat za zrzut ścieków z wielkością strat z tytułu zanieczyszczenia wód powierzchniowych*. 2001, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- 6) Grygorczuk-Petersons E. i in., *Techniczne, prawne i ekonomiczne uwarunkowania stosowania przydomowych oczyszczalni ścieków*, Wyd. Ekonomia i Środowisko, 2015, Białystok.
- 7) Jędrzejewski C., *Suszenie termiczne –bilans energetyczny i efekty ekonomiczne suszenia osadów ścieków*, „Wodociągi Kanalizacja” 2016, nr 3 (145).
- 8) Karolinczak B. Miłaszewski R., *Koszty budowy i eksploatacji komunalnych oczyszczalni ścieków*, „Technologia wody” 2016, nr 1 (45).
- 9) Karolinczak B., Miłaszewski R., *Ocena ekonomicznej efektywności oczyszczalni ścieków*, *Gospodarka Wodna*, 2013, nr 2, s. 53-57.
- 10) Kundziewicz A., Miłaszewski R., *Analiza efektywności kosztowej indywidualnych systemów usuwania i oczyszczania ścieków*, „Inżynieria Ekologiczna”, 2011, nr 24.
- 11) Łatawiec D., *Gdzie budować kanalizację*, „Wodociągi i Kanalizacja”, 2014, nr 7-8.
- 12) Miłaszewski R., Rauba K., *Zastosowanie metod wartościowania środowiska przyrodniczego jako instrumentu ekonomicznego w oczyszczaniu ścieków*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna”, 2015, nr 4.
- 13) Miłaszewski R., *Ekonomika ochrony wód powierzchniowych*, Wyd. Ekonomia i Środowisko, 2003, Białystok.
- 14) Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 18 sierpnia 2009 roku w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska na rok 2010, M. P. 2009, nr 57, poz. 780.
- 15) *Ochrona środowiska, Informacje i opracowania statystyczne* GUS, 2010, Warszawa.
- 16) Rauba E., *Metoda określania opłat za usługi wodne*, rozprawa doktorska, Szkoła Główna Handlowa, 2006, Warszawa.
- 17) Roman M., Gromiec M. J., *Problemy oceny ekonomicznej efektywności inwestycji służących ochronie wód*, w: *Zagospodarowanie granicznego Bugu i jego zlewni w ramach zrównoważonego rozwoju gospodarczego jako element Programu Czysty Bałtyk*, W. Kowalczewski (red.), Katedra Organizacji i Zarządzania Politechniki Białostockiej, Katedra Ekonomii i Zarządzania Gospodarką Politechniki Lubelskiej, 1–2 grudnia 2000 r., Nałęczów.
- 18) Symonowicz A., *Straty z tytułu zanieczyszczenia wód*, w: „Ekonomika ochrony wód”, Gromiec M. (red.), Wyd. Polski Komitet IAWPRL (obecnie IWA) przy IMGW, 1991, Warszawa.

- 19) Wolski R. Ogrodnik A., Ocena ekonomiczna budowy przydomowych oczyszczalni ścieków na przykładzie wybranej inwestycji ekologicznej, „Technologia Wody”, 2014, nr 5.
- 20) Wójtowicz A., Modelowe rozwiązania w gospodarce wodnej, Wyd. Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie” i Stowarzyszenie Eksploatatorów Obiektów Gospodarki Wodno-Ściekowej, 2013, Bydgoszcz.

