

Rafał MIŁASZEWSKI

UNIwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

ZASTOSOWANIE ANALIZ EKONOMICZNYCH W OCHRONIE JAKOŚCI WÓD POWIERZCHNIOWYCH

APPLICATION OF ECONOMIC ANALYSIS IN SURFACE WATER QUALITY CONTROL

Environmental benefits obtained by wastewater treatment are indirectly determined by avoided losses in the aquatic environment. Estimation of the level of these losses is not easy and requires prior determination of unit loss rates. The objective of the article is to analyze methods for estimating the unitary indicator of losses caused by surface water pollution. The subject of the analysis were three loss estimation methods, i.e. index method, contingent valuation method and shadow price method. As a result of the analysis, the advantages and disadvantages of each method were determined and the possibility of their application under Polish conditions was assessed. The index method makes it possible to estimate, on the basis of data from literature, the national index of unit losses caused by surface water pollution. In turn, the contingent valuation method allows to estimate, on the basis of questionnaire research, the value of the unit loss ratio for a single municipality. Finally, the shadow price method makes it possible to determine the size of unit environmental benefits. Its size corresponds to the avoided unit loss factor in consequence of wastewater treatment. The impact structure for the reduction of particular types of pollutants contained in wastewater on environmental benefits was determined for this factor. The removal of nitrogen and phosphorus compounds from wastewater has the greatest impact on this condition.

Keywords: wastewater treatment, environmental benefits, costs-benefits analysis, index method, contingent valuation method, shadow prices.

1. Wprowadzenie

W Załączniku III do Ramowej Dyrektywy Wodnej Unii Europejskiej [2] zostały określone podstawy wykonania analiz ekonomicznych dla usług wodnych, do których zalicza się działania związane z ochroną jakości wód powierzchniowych. Dla projektów inwestycyjnych w dziedzinie ochrony wód jest wymagane dokonanie wyboru najbardziej efektywnej ekonomicznie kombinacji działań. Spełnienie tego wymagania jest związane ze stosowaniem analizy kosztów i efektów (ang. *Costs-Benefits Analysis*).

Stosowane w ramach analizy kosztów i efektów metody oceny ekonomicznej efektywności inwestycji można podzielić na:

- metody proste, ograniczające horyzont czasu przeprowadzanego rachunku do jednego wybranego roku,
- metody rozwinięte, obejmujące horyzontem czasu przeprowadzanego rachunku cały okres budowy i założony okres eksploatacji danego projektu inwestycyjnego.

Proste metody oceny ekonomicznej efektywności inwestycji są oparte na średniorocznych wartościach kosztów i efektów. Nie uwzględniają one czynnika czasu, jak również rentowności przedsięwzięcia inwestycyjnego po upływie obliczonego kalkulacyjnego okresu zwrotu, co ma istotne znaczenie w przypadku inwestycji długookresowych. Te ograniczenia powodują, że proste metody oceny ekonomicznej efektywności inwestycji są nazywane również metodami uproszczonymi lub statycznymi. Zwykle stosuje się je do oceny ekonomicznej efektywności inwestycji krótkookresowych lub oceny wstępnej.

Metody rozwinięte, w przeciwieństwie do prostych metod oceny projektów inwestycyjnych, uwzględniają czynnik czasu. Dlatego nazywane są również metodami złożonymi lub dynamicznymi. W tych metodach koszty w poszczególnych latach i uzyskiwane w różnych latach efekty sprowadza się do poziomu porównywalnego, przeliczając ich wartość na jeden wspólny rok. Jest to najczęściej rok, w którym planuje się rozpoczęcie danej inwestycji lub rok, w którym dokonuje się obliczenia. Sprowadzenia do porównywalnych wszystkich objętych rachunkiem kosztów i efektów, z różnych okresów, przez określenie ich wartości obecnej dokonuje się przez ich dyskontowanie.

W przypadku oceny ekonomicznej efektywności inwestycji w ochronie jakości wód powierzchniowych największe trudności są związane z określeniem efektu środowiskowego, będącego rezultatem odprowadzania, do środowiska wodnego, ścieków oczyszczonych. Przyjęto określać ten efekt, w sposób pośredni, za pomocą wielkości strat ekologicznych unikniętych dzięki oczyszczaniu ścieków. Rachunek tych strat ma charakter szacunkowy. W artykule analizowano trzy metody tego rachunku, czyli metodę wskaźnikową, (ang. *Index Method*), metodę wyceny warunkowej (ang. *Contingent Valuation Method*) oraz metodę Ceny Cienia (Shadow Price Method). Według klasyfikacji metod wartościowania środowiska przyrodniczego [12] rozróżniamy metody bezpośredniego i pośredniego wartościowania. Metodę wyceny warunkowej zalicza się do metod bezpośredniego wartościowania a metodę wskaźnikową i metodę ceny cienia do metod pośredniego wartościowania.

W pracy wykorzystano wyniki badań prowadzonych przez Zespół Badawczy Ekonomiki Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Wód, działający w Katedrze Technologii i Systemów Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej oraz Zakładu Ekonomii i Zarządzania Środowiskiem działającego w Katedrze Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie.

2. Analiza kosztów i efektów w ocenie ekonomicznej efektywności inwestycji w ochronie jakości wód powierzchniowych

W ocenie ekonomicznej efektywności projektów inwestycyjnych w ochronie wód należy dążyć do finansowego wyrażenia efektu środowiskowego oczyszczalni ścieków w taki sposób, ażeby odzwierciedlał on w pełni wszystkie korzyści osiągnięte w konsekwencji realizacji projektu inwestycyjnego w tej dziedzinie. Taka kwantyfikacja efektu środowiskowego obiektów ochrony wód wymaga badań nad zagadnieniem wyceny strat powodowanych zanieczyszczeniem zasobów wodnych. Stosowane są tu różne podejścia, z których najbardziej zostało rozwinięte oszacowanie efektu środowiskowego na podstawie wyceny strat spowodowanych zanieczyszczeniem środowiska wodnego. W ostatnich latach znacznie udoskonalono metody szacunku strat ekologicznych, a uzyskane wyniki z powodzeniem można wykorzystać do oceny ekonomicznej efektywności prowadzonej już działalności gospodarczej. Trudności pojawiają się przy wykorzystaniu tej metody do oceny zamierzeń inwestycyjnych. Stosunkowo trudno jest bowiem ocenić spodziewane zmiany w ekosystemach. Przyspieszenie zastosowania tej metody w ocenie projektów inwestycyjnych wynika z faktu, iż zaawansowane są prace nad programami prognozowania tych zmian, szczególnie przy wykorzystaniu techniki komputerowej i coraz bardziej doskonalonych programów symulacyjnych.

Jak wiadomo, celem inwestycji w dziedzinie ochrony wód jest zmniejszenie zagrożenia dla środowiska wodnego, zatem ich efektem powinno być odpowiednie zmniejszenie strat spowodowanych zanieczyszczeniem zasobów wodnych, uzyskanie określonych produktów (na przykład biogaz, kompost, inne surowce odzyskiwane ze ścieków). Biorąc to pod uwagę, Poskrobko [10] proponuje następujący wzór przedstawiający stosunek przewidywanych efektów do kosztów zapisany w układzie formuły uproszczonej, a mianowicie:

$$E = \frac{P + S_u}{I(r + s) + K_e} \quad (1)$$

gdzie:

- E – wskaźnik bezwzględnej efektywności inwestycji (wielkość bezwymiarowa),
- P – efekty produkcyjne obiektów ochrony wód, obejmujące sumę wartości odzyskanych surowców ze ścieków i nowych wytworzonych produktów, na przykład biogazu, kompostu, zł/rok,
- Su – roczne straty w środowisku wodnym, których uniknięto w wyniku realizacji inwestycji ochrony wód, zł/rok,
- I – wartość nakładów inwestycyjnych na przedsięwzięcia ochrony wód, zł,
- r – stopa dyskontowa, rok-1,
- s – średnia stopa amortyzacji, rok-1,
- Ke – przewidywany roczny koszt eksploatacji (bez amortyzacji) obiektów lub urządzeń ochrony wód, zł/rok.

Warunkiem efektywności, określonej za pomocą wzoru (1) jest, ażeby wskaźnik $E \geq 1$.

Spśród parametrów opisujących wielkość wskaźnika bezwzględnej efektywności inwestycji według wzoru (1), największe trudności sprawia oszacowanie parametru Su. Do oszacowania parametru Su, określającego wielkość strat unikniętych dzięki odprowadzaniu do środowiska wodnego ścieków oczyszczonych można stosować trzy wymienione we Wprowadzeniu metody, czyli metodę wskaźnikową, metodę wyceny warunkowej oraz metodę ceny cienia. W dalszym ciągu artykułu zostanie przeprowadzona ocena tych metod z punktu widzenia możliwości ich praktycznego stosowania.

3. Oszacowanie metodą wskaźnikową strat ekologicznych spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych

Metoda wskaźnikowa stanowi swoistą kompilację wszystkich metod szacowania strat ekologicznych. Jej istota polega na wykorzystaniu empirycznych oszacowań tych strat 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.

W 1991 roku Poskrobko [10], po raz pierwszy zastosował metodę wskaźnikową, polegającą na oszacowaniu ogólnokrajowego wskaźnika jednostkowych strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych do oceny ekonomicznej efektywności inwestycji dotyczących realizacji oczyszczalni ścieków komunalnych w Białymstoku i Suwałkach.

Wykorzystując te badania Zespół Badawczy Ekonomiki Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Wód, działający w ramach Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej, zaproponował, w 2010 roku, następujący wzór do określenia ogólnokrajowego wskaźnika jednostkowych strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych, czyli:

$$s = \frac{PKB \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot w_3}{Q} \quad (2)$$

gdzie:

s – ogólnokrajowy wskaźnik jednostkowych strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych, zł/m³,

PKB - Produkt Krajowy Brutto, mln zł/rok,

w_1 – współczynnik relacji wielkości rocznych całkowitych strat spowodowanych zanieczyszczeniem środowiska do wielkości rocznego PKB, wielkość bezwymiarowa,

w_2 – współczynnik udziału strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych w całkowitych stratach spowodowanych zanieczyszczeniem środowiska, wielkość bezwymiarowa,

w_3 – współczynnik udziału strat spowodowanych przez zrzuty ścieków ze źródeł punktowych w całkowitych stratach spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych, wielkość bezwymiarowa,

Q – całkowita ilość ścieków nieoczyszczonych lub niedostatecznie oczyszczonych w danym roku, mln m³/rok.

Na potrzeby określenia orientacyjnej wartości tego wskaźnika strat (dla poziomu cen z 2010 roku) przyjęto, na podstawie literatury [8], następujące założenia:

- Produkt Krajowy Brutto (PKB) w 2010 roku - 1.415.400 mln zł/rok;
- całkowite straty powodowane zanieczyszczeniem środowiska w 2010 roku stanowią 2% PKB [3], czyli $w_1 = 0,02$;
- straty powodowane zanieczyszczeniem wód powierzchniowych stanowią 15% całkowitych strat powodowanych zanieczyszczeniem środowiska [7], czyli $w_2 = 0,15$;
- straty powodowane przez zrzuty ścieków ze źródeł punktowych stanowią 70% całkowitych strat powodowanych zanieczyszczeniem zasobów wodnych, a pozostałe 30% strat jest powodowane przez źródła obszarowe [10], czyli $w_3 = 0,7$;
- ilość ścieków nieoczyszczonych oraz niedostatecznie oczyszczonych (tylko w sposób mechaniczny) wyniosła w 2010 roku 719,4 mln m³ [9].

Po uwzględnieniu przyjętych założeń orientacyjną wartość ogólnokrajowego wskaźnika jednostkowych strat (s), spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych ze źródeł punktowych, można obliczyć według wzoru (2) w następujący sposób:

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

Znając wielkość ogólnokrajowego wskaźnika jednostkowych strat, określonego według wzoru (3), można łatwo obliczyć wielkość całkowitych, rocznych strat spowodowanych odprowadzaniem nieoczyszczonych ścieków z punkowego źródła zanieczyszczeń. Na przykład dla zrzutu ścieków $Q_d = 25.000 \text{ m}^3/\text{d}$, roczna wielkość strat powstających w odbiorniku tych ścieków, wyniesie $S_r = 25.000 \cdot 365 \cdot 4,13 = 37.686.250 \text{ zł/rok}$.

Określone w ten sposób roczne straty spowodowane zrzutem ścieków nieoczyszczonych z punktowego źródła informują tylko o wpływie na odbiornik całkowitego ładunku zanieczyszczeń odprowadzanych ze ściekami. Natomiast na ich podstawie nie można określić wpływu poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń zawartych w ściekach na stan wód odbiornika.

4. Metoda wyceny warunkowej i próby jej stosowania do oszacowania strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych

Metoda wyceny warunkowej jest często stosowana do wyceny dóbr środowiskowych. Opiera się ona na badaniach ankietowych przeprowadzanych wśród respondentów zainteresowanych danym dobrem lub usługą. Badacz może zadać ankietowanym pytanie w postaci:

- WTP (ang. *Willingness To Pay*), czyli o to ile są w stanie zapłacić za dostęp do danego dobra lub usługi, lub
- WTA (ang. *Willingness to Accept*), czyli spytać ile są skłonni przyjąć za tolerowanie niekorzystnych zmian w badanym elemencie środowiska lub ograniczenie dostępu do niego.

Najczęstszym sposobem zadawania pytań jest metoda wywiadu bezpośredniego. Zalecą tej metody jest uzyskiwanie bezpośrednich oszacowań zainteresowanych osób. Wywiad bezpośredni ma jednakże swoje ograniczenia, do których możemy zaliczyć to, że sposób zadania pytania wpływa na uzyskiwaną odpowiedź oraz, że skłonność do zapłaty, a zdolność zapłacenia to dwie różne sprawy. Badanie dotyczy bowiem pewnej hipotetycznej sytuacji zmuszającej ankietowanych do myślowego eksperymentu i nie można mieć pewności, że gdyby rzeczywiście przyszło do płacenia, decyzja byłaby taka sama.

Przykładem zastosowania metody wyceny warunkowej mogą być badania ankietowe przeprowadzone, metodą wywiadu bezpośredniego, w trzech gminach położonych na wyspie Krecie w Grecji przez zespół pracowników Departamentu Ekonomicznego Uniwersytetu Krety w Rethymno w 2005 roku.

Kwestionariusz do badań został opracowany w taki sposób, ażeby ujawnić gotowość mieszkańców do zapłaty (WTP) za realizację komunalnych oczyszczalni ścieków w tych gminach. Pytanie WTP w kwestionariuszu zostało sformułowane w odniesieniu do trzech różnych kwot, czyli 80%, 100% i 150% dotychczasowego rachunku za usługi kanalizacyjne. W ramach badań przeprowadzono 326 wywiadów. Gotowość do zapłaty za budowę komunalnych oczyszczalni ścieków w badanych gminach wyraziło 97,5% ankietowanych. Średnia dodatkowa dopłata do dotychczasowego rachunku za usługi kanalizacyjne wyniosła 44 euro, co przekracza wielkość dopłaty potrzebnej do realizacji komunalnych oczyszczalni ścieków w badanych gminach [5].

Metodę gotowości do zapłaty za poprawę standardu odprowadzania i oczyszczania ścieków zastosowano po raz pierwszy w Polsce w odniesieniu do trzech gmin województwa podlaskiego (Zbójna, Miastkowo, Dubicze Cerkiewne) w ramach projektu polsko-greckiego nt: „Ocena gotowości do zapłaty za oczyszczanie ścieków i zamykanie obiegów wodnych” [11], realizowanego w Politechnice Białostockiej w latach 2006-2009. Poprawa tego standardu polegałaby na budowie, w każdej z tych gmin, systemu zbiorczego odprowadzania i oczyszczania ścieków. Budowa i eksploatacja takiego systemu powinna przyczynić się do poprawy jakości wód powierzchniowych i podziemnych na terenie badanych gmin i pozwolić na likwidację zbiorników bezodpływowych i uciążliwego dla środowiska transportu ścieków taborem asenizacyjnym. Stworzyłoby to także lepsze warunki dla rozwoju turystyki na terenach badanych gmin.

Przed zadaniem pytania WTP ankietowani odpowiadali na pytanie, czy zgadzają się na budowę komunalnej oczyszczalni ścieków, która mogłaby w sposób znaczący zredukować zanieczyszczenia w ściekach odprowadzanych z terenu ich gminy. Pytanie WTP w kwestionariuszu sformułowano dla trzech poziomów cen płaconych za usługi kanalizacyjne w badanych gminach. Na przykład w gminie Zbójna pierwsza cena (4,59 zł/ m³) była oparta na średnim koszcie odprowadzania i oczyszczania ścieków w tej gminie. Druga cena (5,86 zł/m³) była ustalona na podstawie kosztów eksploatacji odprowadzania i oczyszczania ścieków oraz amortyzacji całego systemu. Z kolei trzecia cena (7,03 zł/m³) uwzględniała koszty eksploatacji, amortyzacji oraz zysk przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjnego. W przypadku, gdy ankietowani nie wybrali żadnej z proponowanych cen, mogli sami zaproponować maksymalną kwotę, którą byliby skłonni zapłacić za oczyszczanie i odprowadzanie ścieków jak również podać przyczynę, dla której żadnej z proponowanych cen nie wybrali.

Po przeanalizowaniu danych z 250 ankiet okazało się, że większość ankietowanych, czyli 88,4 % chciałaby powstania w gminie oczyszczalni ścieków komunalnych. Tylko 11,6 % ankietowanych była temu przeciwna. Z drugiej jednak strony, tylko 118 osób, czyli 47% ankietowanych było skłonnych zapłacić drugą cenę za budowę oczyszczalni ścieków. Gotowość do zapłaty za budowę oczyszczalni ścieków wyraziły osoby, które prowadzą aktywny tryb życia i chcą uniknąć degradacji środowiska przez odprowadzanie nieoczyszczonych ścieków do wód powierzchniowych lub do gruntu.

Natomiast wśród 132 ankietowanych, którzy nie chcą płacić, 67 ankietowanych (50%) twierdziło, że oczyszczanie ścieków powinno być bezpłatne. Z kolei 34 ankietowanych (26%) przyznało, że nie stać ich na płacenie za budowę oczyszczalni, zaś 10 ankietowanych (8%) stwierdziło, że wybudowanie oczyszczalni nie poprawi sytuacji w dziedzinie oczyszczania ścieków w gminie. Pozostałych 21 ankietowanych (16%) podało inne powody.

Ważną zmienną w analizie stanowi wiek respondentów. Osoby starsze są gotowe zapłacić, osoby młodsze nie są gotowe. Może to być spowodowane problemami migracyjnymi ze wsi do miast. Młodzież w województwie podlaskim chce przenieść się do większych miast lub zagranicę w celu znalezienia lepszej pracy, a osoby starsze chciałyby mieć rozwiązane problemy oczyszczania ścieków na swoim terenie. Być może osoby starsze posiadają większe oszczędności.

Model zastosowany do statystycznej analizy wyników badań ankietowych, powstał w programie SPSS, przy użyciu procedur „Analiza-Regresja Binarna-Logistyczna”.

Zastosowanie tego modelu statystycznego umożliwiło analizę badań ankietowych i określenie wskaźnika ceny płaconej przez mieszkańców za budowę i eksploatację komunalnego systemu oczyszczania i odprowadzania ścieków na poziomie 5,20 zł/m³. Odpowiada on wielkości jednostkowych strat spowodowanych brakiem oczyszczalni ścieków w badanej gminie. Wskaźnik ten został określony w sposób bezpośredni poprzez badania ankietowe mieszkańców gminy. W ten sposób określono, za pomocą metody wyceny warunkowej, wskaźnik strat jednostkowych dla konkretnej gminy, w tym wypadku dla gminy Zbójna w województwie podlaskim. Może on być stosowany do badania strat środowiskowych spowodowanych przez zrzuty ścieków występujące na terenie tej gminy i nie ma on charakteru wskaźnika ogólnokrajowego. Wskaźnik ogólnokrajowy został bowiem określony, w sposób pośredni, za pomocą danych z literatury fachowej.

5. Zastosowanie cen cienia do oszacowania efektów środowiskowych oczyszczania ścieków

Pojęcie ceny cienia wykorzystuje się w analizie ekonomicznej w celu wyrażenia wielkości kosztów lub efektów w projekcie wówczas, gdy cena rynkowa nie odzwierciedla ich wartości ekonomicznej. Ceny takie wykorzystuje się także w przypadku uwzględniania efektów zewnętrznych działalności gospodarczej.

Sancho i in. [6] z Uniwersytetu w Walencji w Hiszpanii zaproponowali metodę opartą na oszacowaniu cen cienia dla zanieczyszczeń usuwanych w procesie oczyszczania ścieków. W tej metodzie oczyszczanie ścieków jest traktowane jako proces produkcyjny, w którym produkty pożądane, czyli oczyszczone ścieki powstają jednocześnie z produktami niepożądanymi, czyli zanieczyszczeniami występującymi w ściekach nieoczyszczonych. Ceny cienia, dla tych niepożądanych efektów, stanowią ekwiwalent strat ekologicznych w środowisku wodnym unikniętych dzięki oczyszczaniu ścieków albo efekty środowiskowe uzyskane poprzez oczyszczanie ścieków.

Do matematycznego rozwiązania problemu oszacowania cen cienia w procesie oczyszczania ścieków zastosowano funkcję odległości sformułowaną przez Farë i in. [4]. Koncepcja tej funkcji polega na połączeniu tradycyjnej funkcji produkcji i pomiarów różnic pomiędzy produktami powstającymi w procesie będącym przedmiotem badań a produktami procesu bardziej efektywnego. Następnie ta funkcja została przekształcona w funkcję logarytmiczną. Dla oszacowania wielkości parametrów funkcji logarytmicznej zastosowano metodę programowania liniowego. Metodologia określania parametrów funkcji odległości została określona w publikacji Sancho i in. [6].

Dla rozwiązania problemu zastosowano program GAMS z CPLEX solver [1].

Po raz pierwszy metodę cen cienia zastosowano w praktyce do określenia efektów środowiskowych uzyskiwanych w 43 oczyszczalniach ścieków zlokalizowanych w regionie Walencji w Hiszpanii. Ilości ścieków oczyszczanych w poszczególnych oczyszczalniach wahają się w granicach od 1mln m³/rok do 10 mln m³/rok. Wszystkie oczyszczalnie są wyposażone w urządzenia do usuwania związków azotu i fosforu. W analizowanym modelu matematycznym przyjęto, że w procesie oczyszczania ścieków, traktowanym jako proces produkcyjny, można otrzymać produkty pożądane i niepożądane [6]. Dane pochodzące z tych oczyszczalni ścieków zestawiono w tabeli 1. Jako produkt pożądany przyjęto ilość oczyszczanych ścieków (U1). Równocześnie przyjęto pięć produktów niepożądanych, określonych za pomocą zanieczyszczeń zawartych w ściekach, których ładunki opisano przy użyciu wielkości takich wskaźników, jak związki azotu (U2), związki fosforu (U3), zawiesina (U4) oraz substancje organiczne określone za pomocą wskaźników BZT (U5) i ChZT (U6). Czynniki niezbędnymi do realizacji procesu oczyszczania ścieków są: energia (X1), pracownicy (X2), chemikalia i utrzymanie urządzeń oczyszczania ścieków (X3) oraz inne czynniki (X4).

Tabela 1. Zestawienie wielkości czynników realizacji, produktów pożądanych i produktów niepożądanych dla procesu oczyszczania ścieków [6]

Table 1. List of the size of realization factors, desired and undesired products for the wastewater treatment process [6]

		Średnia	Odchylenie
Czynniki realizacji procesu oczyszczania ścieków, euro/rok			
- Energia	X ₁	115.605,81	62.215,94
- Wynagrodzenia dla pracowników	X ₂	194.375,70	107.894,27
- Chemikalia i utrzymanie obiektów	X ₃	89.801,95	76.838,84
- Inne	X ₄	111.739,98	83.104,69
Produkty pożądane			
- Oczyszczone ścieki, m ³ /rok	U ₁	3.469.253,74	1.941.214,35
Produkty niepożądane, kg/rok			
- Związki azotu	U ₂	88.794,98	73.772,58
- Związki fosforu	U ₃	17.463,23	16.977,39
- Zawiesina ogólna	U ₄	1.196.525,19	1.097.032,56
- BZT	U ₅	1.134.974,22	999.246,11
- ChZT	U ₆	2.230.576,68	1.927.064,29

Oszacowanie parametrów funkcji translogarytmicznej umożliwia określenie cen cienia dla produktów niepożądanych dla każdej z analizowanych oczyszczalni ścieków. Dla obliczenia wielkości tych cen cienia konieczne jest określenie ceny referencyjnej dla pożądanego produktu, czyli ścieków oczyszczanych. Choć wartość tego produktu nie jest uwarunkowana przez rynek, jednakże jest logiczne przyjęcia założenia, że ceny cienia będą zależały od rodzaju odbiornika ścieków oczyszczonych oraz potencjalnego wykorzystania wód tego odbiornika. W ten sposób oczyszczane ścieki otrzymują cenę referencyjną zależną od rodzaju ich odbiornika, co zostało pokazane w tabeli 2.

Tabela 2. Ceny referencyjne ścieków oczyszczonych wyrażone w euro/m³ i ceny cienia określone dla zanieczyszczeń zawartych w ściekach nieoczyszczonych wyrażone w euro/kg.

Table 2. Reference prices of treated wastewater (€/m³) and shadow prices of pollutants in untreated wastewater (€/kg).

Rodzaj odbiornika ścieków	Ceny referencyjne ścieków oczyszczonych euro/m ³	Związki azotu euro/kg	Związki fosforu euro/kg	Zawiesina euro/kg	BZT euro/kg	ChZT euro/kg
Rzeka	0,7	- 15,353	- 30,944	- 0,005	- 0,033	- 0,098
Morze	0,1	- 4,612	- 7,533	- 0,001	- 0,005	- 0,010
Mokradła	0,9	- 65,209	-103,424	- 0,010	- 0,117	- 0,122
Odzysk wody ze ścieków	1,5	- 26,182	- 79,268	- 0,010	- 0,058	- 0,140

Jak pokazują dane zamieszczone w tabeli 2, ceny cienia dla pięciu niepożądanych zanieczyszczeń zawartych w ściekach, są wielkościami ujemnymi, odzwierciedlającymi uniknięte straty w środowisku wodnym lub inaczej określającymi efekty środowiskowe. Tak się dzieje ponieważ z punktu widzenia procesu produkcyjnego te ceny nie są powiązane z rynkowymi efektami, które mogłyby generować przychody. W rzeczywistości prawdziwe jest stwierdzenie odwrotne. Jednakże, ze środowiskowego punktu widzenia, te ceny cienia mogą być interpretowane pozytywnie, ponieważ odzwierciedlają one straty, które zostały uniknięte albo korzyści dla środowiska wodnego, do którego oczyszczone ścieki są odprowadzane i które w tej sytuacji nie ulega zanieczyszczeniu.

Efekty środowiskowe uzyskiwane dzięki oczyszczaniu ścieków, zależą także od rodzaju usuwanych zanieczyszczeń i ich odbiornika. Ceny cienia pokazują znaczące zróżnicowanie, które zależy od rodzaju produktów niepożądanych. Eliminacja fosforu ze ścieków jest najbardziej efektywnym działaniem ze środowiskowego punktu widzenia bez względu na rodzaj odbiornika ścieków oczyszczonych. Natomiast usuwanie zawiesiny jest najmniej efektywnym środowiskowo działaniem.

Największe efekty środowiskowe są powiązane z odprowadzaniem oczyszczanych ścieków na tereny mokradeł. Są to bowiem obszary szczególnie wrażliwe na eutrofizację, a więc zapobieganie temu procesowi poprzez odprowadzanie ścieków oczyszczonych wywiera istotny wpływ na jego zahamowanie. Odzysk wody ze ścieków pozwala uzyskać znaczące efekty środowiskowe ponieważ zmniejsza presję zawartych w ściekach zanieczyszczeń na wody powierzchniowe i w ten sposób zmniejsza straty w środowisku wodnym. Najniższe efekty środowiskowe, uzyskuje się przy odprowadzaniu oczyszczonych ścieków do morza. Wynika to z faktu znacznego rozcieńczenia i rozproszenia ścieków w tego rodzaju odbiorniku.

W tabeli 3 przedstawiono efekty środowiskowe uzyskane dzięki oczyszczaniu ścieków.

Tabela 3. Efekty środowiskowe oczyszczania ścieków wyrażone w euro/rok i euro/m³ [6]
 Table 3. Environmental benefits of wastewater treatment in €/yr and €/m³.

Rodzaje zanieczyszczeń	Redukcja zanieczyszczeń kg/rok	Efekt środowiskowy wyrażony w euro/rok	Efekt środowiskowy wyrażony w euro/m ³	Struktura efektu środowiskowego %
Związki azotu	4.287.717	98.133.996	0,481	59,6
Związki fosforu	917.895	50.034.733	0,245	30,4
Zawiesina	60.444.987	448.098	0,002	0,3
BZT	59.635.275	2.690.421	0,013	1,6
ChZT	113.510.321	13.364.429	0,066	8,1
Razem:		164.671.677	0,807	100,0

Jak wynika z tabeli 3 największe efekty środowiskowe są uzyskiwane dzięki redukcji związków azotu i fosforu w procesie oczyszczania ścieków. Te substancje biogenne znajdują się we wszystkich organizmach i powodują w odbiorniku ścieków intensyfikację procesu eutrofizacji oraz ograniczają bioróżnorodność przez stymulowanie wzrostu glonów.

Drugie pod względem wielkości efekty środowiskowe w odbiorniku ścieków uzyskuje się poprzez usunięcie ze ścieków substancji organicznych (określonych za pomocą wskaźników BZT i ChZT). Substancje organiczne stanowią pożywkę dla mikroorganizmów w odbiorniku ścieków i to pociąga za sobą znaczne zużycie tlenu. Rezultatem tego może być niedobór tlenu rozpuszczonego w wodzie. Relatywne znaczenie tych zjawisk zależy od fizycznego charakteru odbiornika ścieków. W dodatku występuje tam wzrost populacji bakterii.

Najniższe efekty środowiskowe uzyskuje się w rezultacie usuwania ze ścieków zawiesiny. Wszystkie wody śródlądowe zawierają zawiesinę pochodzącą z erozji. Obecność zawiesiny w odbiorniku ścieków jest niebezpieczna tylko wtedy, gdy jej stężenie jest bardzo wysokie i utrzymuje się przez dłuższy czas.

W ostatniej kolumnie tabeli 3 przedstawiono strukturę efektu środowiskowego. Jak wynika z analizy danych zestawionych w tabeli 3 największy udział, bo prawie 60%, w uzyskaniu efektu środowiskowego ma usuwanie ze ścieków związków azotowych.

Kolejnym znaczącym rodzajem zanieczyszczenia jest fosfor, którego usunięcie daje 30%. Należy zauważyć, że redukcja tych związków biogenych daje najwięcej, bo aż 90% efektów środowiskowych, uzyskiwanych poprzez proces oczyszczania ścieków. Dzieje się tak dlatego, że tym zanieczyszczeniom zawartym w ściekach odpowiadają najwyższe ceny cienia, jak to pokazano w tabeli 2.

Chociaż duża ilość zawiesiny jest usuwana ze ścieków podczas procesu ich oczyszczania, ich niskie ceny cienia oznaczają niewielki wkład procentowy (0,3%) w uzyskanie całkowitego efektu środowiskowego. Udział redukcji substancji organicznych, mierzonych za pomocą wskaźników ChZT i BZT, w uzyskaniu całkowitego efektu środowiskowego wynosi tylko 9,7%, ponieważ, pomijając fakt, że większość ich ładunku jest usuwana w procesie oczyszczania ścieków, ich ceny cienia są relatywnie niskie.

Biorąc pod uwagę ładunek zanieczyszczeń usuniętych w procesie oczyszczania ścieków oraz ceny cienia dla każdego rodzaju zawartych w ściekach zanieczyszczeń w zależności od rodzaju odbiornika do którego są odprowadzane, możemy obliczyć całkowity efekt środowiskowy uzyskany dzięki oczyszczaniu ścieków. Jak to pokazano w tabeli 3, całkowity, jednostkowy efekt środowiskowy, uzyskany dzięki oczyszczaniu ścieków wynosi 0,807 euro/m³. Jego wielkość odpowiada wskaźnikowi jednostkowych strat w środowisku wodnym unikniętych dzięki oczyszczaniu ścieków.

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz możliwe było sformułowanie następujących wniosków:

1. W procesie oceny ekonomicznej efektywności projektów inwestycyjnych, w dziedzinie ochrony wód powierzchniowych, największe trudności sprawia oszacowanie wielkości efektu środowiskowego inwestycji, określonego za pomocą wielkości rocznych strat unikniętych dzięki odprowadzeniu do odbiornika ścieków oczyszczonych.
2. Dotychczas, do oszacowania wielkości strat spowodowanych zanieczyszczeniem ściekami wód powierzchniowych, stosowano w Polsce powszechnie metodę wskaźnikową. W tej metodzie dokonuje się oszacowania wielkości ogólnokrajowego wskaźnika strat jednostkowych, spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych na podstawie danych pochodzących z literatury fachowej. Jest to pośredni sposób szacowania wielkości tego wskaźnika.
3. Metoda wyceny warunkowej umożliwia określenie, w sposób bezpośredni za pomocą badań ankietowych, wskaźnika strat jednostkowych dla konkretnej gminy. W Polsce ta metoda została praktycznie zastosowana w kilku gminach województwa podlaskiego.
4. Stosowanie metody ceny cienia do określania wskaźnika jednostkowych strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych umożliwia ustalenie wpływu poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń odprowadzanych ze ściekami na stan odbiornika. Ta metoda nie była dotychczas stosowana w Polsce.
5. Opisany w artykule przykład dotyczy zastosowania metody cen cienia do oczyszczalni ścieków działających w regionie Walencja w Hiszpanii. W tym przykładzie została określona struktura wpływu redukcji poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń zawartych w ściekach na stan odbiornika. Wynika z niej, że największy wpływ mają zawarte w ściekach związki azotu i fosforu (około 90%). Stąd usunięcie tych związków ze ścieków, w procesie ich oczyszczania, daje największe efekty środowiskowe.
6. Określenie struktury wpływu usuwania poszczególnych zanieczyszczeń zawartych w ściekach na efekt środowiskowy może znajdować zastosowanie w projektowaniu oczyszczalni ścieków. Stosowanie metody cen cienia w warunkach polskich wymaga opracowania matematycznych podstaw rozwiązania tego problemu oraz programów komputerowych, umożliwiających praktyczne stosowanie tej metody.
7. Z porównania analizowanych w pracy trzech metod określania wielkości wskaźnika jednostkowych strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych wynika, że metoda wskaźnikowa daje zbyt ogólne wyniki w porównaniu z metodą wyceny warunkowej. Z kolei wadą metody wyceny warunkowej jest długie i kosztowne oraz stwarzające możliwość stronniczości badanie ankietowe. Tych wad jest pozbawiona metoda ceny cienia, która opiera się na aktualnych danych statystycznych i nie wymaga badań ankietowych.

Bibliografia

- 1) Casarus T., Mocholi M. and Sala R., Economic Optimization with GAMS. Comput. Higher Educ. Economics Rev., 1996, 10(2).
- 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) 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, Kraków 2001.
- 4) Färe R., Grosskopf S., Lovell C.A.K., Yaisawarng S., Derivation of shadow prices for undesirable outputs: a distance function approach, Rev. Econs Statistics, 1993, 75 (2).
- 5) Genius M. et al.: Estimation of willingness to pay for wastewater treatment, Water Science and Technology: Water Supply Vol. 5, No. 6, IWA Publishing 2005.
- 6) Hernandez-Sancho F. et al., Economic Valuation of Environmental Benefits from the Wastewater Treatment Process : An Empirical Approach for Spain, in Asset Management of Medium and Small Wastewater Utilities, V. Tsihrintzis and K. Tsagarakis (eds.) International Water Association and Democritus University of Thrace, Department of Environmental Engineering, Aleksandroupolis, Greece, 3-4 July 2009.
- 7) Miłaszewski R.: Ekonomia ochrony wód powierzchniowych, Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok 2003.
- 8) Miłaszewski R., Rauba K., Zastosowanie metod wartościowania środowiska przyrodniczego jako instrumentu ekonomicznego w oczyszczaniu ścieków, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2015, nr 4.
- 9) Ochrona środowiska, Informacje i opracowania statystyczne 2010, GUS, Warszawa 2010.
- 10) Poskrobko B., Wstępna koncepcja ekologiczno-ekonomicznej oceny inwestycji, w: Ekonomia ochrony wód, M.J. Gromiec (red.), Wyd. Polski Komitet ds. IAWPRC (obecnie IWA) przy IMGW, Warszawa 1991.
- 11) Sprawozdanie z realizacji polsko-greckiego projektu badawczego nt.: Ocena gotowości do zapłaty za oczyszczanie ścieków i zamykanie obiegów wodnych, Politechnika Białostocka, Białystok 2008.
- 12) Śleszyński J., Ekonomiczne problemy ochrony środowiska, Wyd. ARIES, Warszawa 2000.

