

Rafał Miłaszewski

Porównanie metod określania strat ekologicznych spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych ściekami

W ocenie ekonomicznej efektywności inwestycji w ochronie jakości wód powierzchniowych największe trudności sprawia określenie tak zwanego efektu środowiskowego, będącego rezultatem odprowadzania ścieków do środowiska wodnego. Przyjęto oceniać ten efekt w sposób pośredni, szacując wartości strat ekologicznych unikniętych dzięki oczyszczaniu ścieków. Klasyfikacja metod oceny wartości środowiska przyrodniczego [1] rozróżnia metody wartościowania bezpośredniego i pośredniego, przy czym metodę wyceny warunkowej (contingent valuation method) zalicza się do metod wartościowania bezpośredniego, a metody wskaźnikową (index method) i ceny cienia (shadow price method) do metod wartościowania pośredniego.

W niniejszym artykule poddano analizie trzy wyróżnione metody oraz oceniono możliwości ich praktycznego stosowania. Na potrzeby tej analizy 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 Zakład Ekonomii i Zarządzania Środowiskiem, działający w Katedrze Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie [2].

Metody szacowania efektów środowiskowych oczyszczania ścieków

Stosownie do załącznika III Ramowej Dyrektywy Wodnej [3], w przypadku inwestycji w dziedzinie ochrony jakości wód powierzchniowych, wymagane jest dokonanie wyboru najbardziej ekonomicznej kombinacji działań, co jest związane ze stosowaniem analizy kosztów i korzyści (CBA – costs-benefits analysis). Celem inwestycji w dziedzinie ochrony jakości wód powierzchniowych jest zmniejszenie zagrożenia środowiska wodnego, zatem ich efektem powinno być odpowiednie ograniczenie strat spowodowanych zanieczyszczeniem zasobów wodnych oraz uzyskanie określonych korzyści, wynikających na przykład z otrzymywania biogazu, kompostu oraz surowców odzyskiwanych ze ścieków. Biorąc to pod uwagę zaproponowano uproszczoną formułę, przedstawiającą stosunek przewidywanych efektów do kosztów, w postaci [4]:

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

w której:

E – wskaźnik bezwzględnej efektywności inwestycji

P – roczne efekty produkcyjne obiektów ochrony wód (suma wartości odzyskanych surowców ze ścieków oraz wytworzonych produktów – na przykład biogazu, kompostu i innych), zł

S_u – roczne straty w środowisku wodnym, uniknięte w wyniku realizacji inwestycji z zakresu ochrony wód, zł

I – całkowite nakłady inwestycyjne na przedsięwzięcia z zakresu ochrony wód, zł

r – roczna stopa dyskontowa

s_s – średnia roczna stopa amortyzacji

K_e – przewidywany roczny koszt eksploatacji (bez amortyzacji) obiektów lub urządzeń z zakresu ochrony wód, zł

Warunkiem efektywności inwestycji, określonej za pomocą wzoru (1), jest spełnienie zależności $E \geq 1$. Spośród parametrów opisujących wartość wskaźnika E największe trudności sprawia oszacowanie wartości parametru S_u , określającego straty uniknięte dzięki odprowadzaniu do środowiska wodnego ścieków oczyszczonych.

Metoda wskaźnikowa

Metoda wskaźnikowa stanowi swoistą kompilację wszystkich metod szacowania strat ekologicznych. Jej istota polega na wykorzystaniu empirycznych oszacowań strat uzyskanych w warunkach porównywalnych lub uśrednionych. Adaptacja tych oszacowań jest możliwa dzięki określeniu wartości wskaźników jednostkowych strat ekologicznych, które informują o przeciętnej stracie przypadającej na jednostkę naturalną (metr sześcienny, hektar, jednego zatrudnionego) bądź wyrażonej procentowo. W 1991 r. autor pracy [4] po raz pierwszy zastosował metodę wskaźnikową, polegającą na oszacowaniu wartości 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 następujący wzór do określenia wartości ogólnokrajowego wskaźnika jednostkowych strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych:

Prof. dr hab. inż. R. Miłaszewski: Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, Wydział Biologii i Nauk o Środowisku, Katedra Inżynierii Środowiska, ul. K. Wóycickiego 1/3, 01-938 Warszawa
r.milaszewski@uksw.edu.pl

$$s = ([PKB] \times w_1 \times w_2 \times w_3) / Q \quad (2)$$

w którym:

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

PKB – roczny produkt krajowy brutto, mln zł

w₁ – współczynnik relacji wartości rocznych całkowitych strat spowodowanych zanieczyszczeniem środowiska do wartości rocznego PKB

w₂ – współczynnik udziału strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych w całkowitych stratach spowodowanych zanieczyszczeniem środowiska

w₃ – współczynnik udziału strat spowodowanych przez ścieki odprowadzane ze źródeł punktowych w całkowitych stratach spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych

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

Do określenia orientacyjnej wartości wskaźnika strat jednostkowych (s), zakładając poziom cen z 2016 r., przyjęto następujące założenia:

– produkt krajowy brutto (PKB) w 2016 r. wyniósł 1 850 000 mln zł,

– całkowite straty powodowane zanieczyszczeniem środowiska stanowią 2% PKB [5] (w₁=0,02),

– straty powodowane zanieczyszczeniem wód powierzchniowych stanowią 15% całkowitych strat powodowanych zanieczyszczeniem środowiska [6] (w₂=0,15),

– straty powodowane odprowadzaniem ścieków ze źródeł punktowych stanowią 70% całkowitych strat powodowanych zanieczyszczeniem zasobów wodnych, a pozostałe 30% strat powodują źródła obszarowe [6] (w₃=0,7),

– ilość ścieków nieoczyszczonych oraz oczyszczonych niedostatecznie (tylko w sposób mechaniczny) w 2016 r. wyniosła 618,7 mln m³ [7].

Uwzględniając te założenia, orientacyjna wartość ogólnokrajowego wskaźnika strat jednostkowych, spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych ze źródeł punktowych, obliczona ze wzoru (2) wyniosła s=6,28 zł/m³. Znając tę wartość można obliczyć całkowite roczne straty spowodowane odprowadzaniem ścieków nieoczyszczonych ze źródła punktowego. Na przykład w przypadku odprowadzania ścieków w ilości 25 000 m³/d, roczna wartość strat powstałych w odbiorniku wyniesie S_r=57 305 000 zł. Określone w ten sposób roczne straty, spowodowane odprowadzaniem ścieków nieoczyszczonych ze źródła punktowego do wód powierzchniowych, informują jedynie o wpływie na odbiornik całkowitej ilości odprowadzanych ścieków, jednak na ich podstawie nie można określić wpływu poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń zawartych w ściekach na stan wód odbiornika.

Metoda wyceny warunkowej

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

– WTP (willingness to pay), czyli ile mogą zapłacić za dostęp do danego dobra lub usługi,

– lub WTA (willingness to accept), czyli 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, a jej zaletą jest uzyskiwanie

bezpośrednich oszacowań zainteresowanych osób. Wywiad bezpośredni ma jednakże swoje ograniczenia, dotyczy bowiem pewnej hipotetycznej sytuacji zmuszającej ankietowanych do eksperymentu myślowego i nie można mieć pewności, że gdyby rzeczywiście wystąpiła konieczność zapłaty, decyzja byłaby taka sama.

Przykładem zastosowania wyceny warunkowej mogą być badania ankietowe przeprowadzone metodą wywiadu bezpośredniego w trzech gminach położonych na Krete przez pracowników Departamentu Ekonomicznego Uniwersytetu Kreta w Rethymno w 2005 r. [8]. Kwestionariusz do badań został opracowany w taki sposób, aby ujawnić gotowość mieszkańców do zapłaty (WTP) za realizację komunalnych oczyszczalni ścieków w tych gminach. Pytanie WTP w kwestionariuszu odnosiło się do trzech różnych kwot – 80%, 100% i 150% dotychczasowego rachunku za odprowadzanie ścieków. W ramach badań przeprowadzono 326 wywiadów, przy czym gotowość do zapłaty za budowę komunalnych oczyszczalni ścieków w badanych gminach wyraziło 97,5% ankietowanych. Średnia dopłata do dotychczasowego rachunku za usługi kanalizacyjne wyniosła 44 euro, co przekraczało wartość potrzebną do realizacji oczyszczalni ścieków w badanych gminach [8].

Metodę gotowości do zapłaty za poprawę standardu odprowadzania i oczyszczania ścieków zastosowano po raz pierwszy w Polsce w trzech gminach województwa podlaskiego (Zbójna, Miastkowo i Dubicze Cerkiewne) w ramach polsko-greckiego projektu „Ocena gotowości do zapłaty za oczyszczanie ścieków i zamykanie obiegów wodnych” [9], zrealizowanego 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 transportu ścieków taborem asenizacyjnym, co stworzyłoby także lepsze warunki do 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 ograniczyć zawartość zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych z terenu gminy. Pytanie WTP w kwestionariuszu zawierało trzy poziomy cen 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 systemu 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 odprowadzanie i oczyszczanie ścieków, jak również podać przyczynę braku wyboru żadnej z proponowanych cen [9]. Po przeanalizowaniu danych z 250 ankiet okazało się, że większość ankietowanych (88,4%) chciałaby, aby w gminie powstała oczyszczalnia ścieków, a tylko 11,6% ankietowanych była temu przeciwna. Jednocześnie tylko 118 osób (47%) było skłonnych zapłacić drugą cenę za budowę oczyszczalni ścieków. Gotowość do zapłaty za budowę oczyszczalni ścieków wyraziły osoby, które prowadziły aktywny tryb życia i wołały

uniknąć degradacji środowiska przez odprowadzanie nieoczyszczonych ścieków do wód powierzchniowych lub do gruntu. Wśród 132 ankietowanych, którzy nie wyrazili zgody na zapłatę, 67 osób (50%) twierdziło, że oczyszczanie ścieków powinno być bezpłatne, z kolei 34 osoby (26%) przyznały, że nie stać ich na płacenie za budowę oczyszczalni, zaś 10 osób (8%) stwierdziło, że wybudowanie oczyszczalni nie poprawi sytuacji w gminie. Pozostałych 21 ankietowanych (16%) podało inne powody. Ważną zmienną w tej analizie stanowił wiek respondentów. Osoby starsze były gotowe zapłacić za oczyszczanie ścieków, natomiast młodsze nie były na to gotowe, co mogło być spowodowane ich migracją ze wsi do miast [9].

Model zastosowany do statystycznej analizy wyników badań ankietowych powstał w programie SPSS z użyciem procedur „Analiza-Regresja Binarna-Logistyczna”. Zastosowanie tego modelu umożliwiło analizę badań ankietowych i określenie wskaźnika ceny płaconej przez mieszkańców za budowę i eksploatację komunalnego systemu odprowadzania i oczyszczania ścieków na poziomie 5,20 zł/m³, co odpowiadało wartości strat jednostkowych spowodowanych brakiem oczyszczalni ścieków w badanej gminie. Wskaźnik ten został określony w sposób bezpośredni na podstawie badań ankietowych mieszkańców gminy. Wykorzystując metodę wyceny warunkowej określono wartość wskaźnika strat jednostkowych w przypadku konkretnej gminy (w tym przypadku gminy Zbójna) w województwie podlaskim. Może być on stosowany do badania strat środowiskowych spowodowanych przez odprowadzanie ścieków na terenie tej gminy, przy czym nie ma on charakteru wskaźnika ogólnokrajowego, gdyż ten został określony w sposób pośredni, na podstawie danych literaturowych.

Po upływie 10 lat od badań wykonanych w ramach omawianego polsko-greckiego projektu przeprowadzono w Politechnice Białostockiej badania gotowości do zapłaty przez mieszkańców za poprawę standardu oczyszczania i odprowadzania ścieków w gminie Śniadowo w województwie podlaskim. Badania ankietowe wykonano metodą wywiadu bezpośredniego. Ponad 60% ankietowanych była skłonna dopłacić do budowy i eksploatacji zbiorczego systemu odprowadzania i oczyszczania ścieków pod warunkiem, że będzie to kwota mniejsza niż 50 zł miesięcznie. Większość ankietowanych (55%) wyraziła pogląd, że na terenach o zabudowie rozproszonej najlepszym rozwiązaniem jest budowa przez władze gminy przydomowych oczyszczalni ścieków. Ankietowani wyrazili gotowość dofinansowania tej budowy w kwocie 500÷1000 zł [10].

Metoda ceny cienia

Pojęcie ceny cienia wykorzystuje się w analizie ekonomicznej do wyrażenia wartości 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. Do matematycznego rozwiązania problemu oszacowania cen cienia w procesie oczyszczania ścieków zastosowano funkcję odległości sformułowaną w pracy [11]. Koncepcja tej funkcji polega na połączeniu tradycyjnej funkcji produkcji i pomiarów różnic między produktami powstającymi w procesie będącym przedmiotem badań a produktami procesu bardziej efektywnego. Następnie funkcja ta została przekształcona w funkcję logarytmiczną, przy czym do oszacowania wartości jej parametrów zastosowano metodę programowania

liniowego. Koncepcja ta była również proponowana przez autorów pracy [12] w odniesieniu do badania recyklingu papieru w gospodarstwach domowych w Wietnamie oraz przez autorów pracy [13] do określenia cen cienia przez firmy produkujące ceramiczne płyty chodnikowe w Hiszpanii.

Oczyszczanie ścieków można potraktować jak proces produkcyjny, którego podstawowymi elementami są czynniki potrzebne do jego realizacji (energia, chemikalia itp.), a także produkty pożądane (ścieki oczyszczone) i niepożądane (zanieczyszczenia zawarte w ściekach nieoczyszczonych). Takie podejście zastosowali autorzy pracy [14], którzy przeanalizowali dane dotyczące 43 oczyszczalni ścieków zlokalizowanych w regionie Walencji (Hiszpania). Ilość ścieków oczyszczanych w poszczególnych oczyszczalniach (z usuwaniem związków azotu i fosforu) wahała się od 2750 m³/d do 27500 m³/d. Wyniki analizy statystycznej zbioru uzyskanych danych zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie rocznych wartości czynników realizacji oraz ilości produktów pożądanych i niepożądanych w procesie oczyszczania ścieków [14]

Table 1. Annual summary of realization factor values as well as the desired and undesired products in the wastewater treatment process [14]

Parametr, jednostka	Wartość średnia	Odchylenie standardowe
czynnik realizacji		
Energia, euro	115606	62216
Wynagrodzenia, euro	194376	107894
Chemikalia i utrzymanie urzędzeń, euro	89802	76839
Inne, euro	111740	83105
produkt pożądany		
Ścieki oczyszczone, m ³	3469254	1941214
produkt niepożądany		
Azot, kgN	88795	73773
Fosfor, kgP	7463	16977
Zawiesiny, kg	1196525	1097033
BZT ₅ , kgO ₂	1134974	999246
ChZT, kgO ₂	2230577	1927064

Czynnikami biorącymi udział w realizacji procesu oczyszczania ścieków były zużyta energia, wynagrodzenia pracowników, zużyte chemikalia i utrzymanie urzędzeń oraz inne. Jako produkt pożądany przyjęto ilość ścieków oczyszczonych, natomiast jako produkty niepożądane (określone za pomocą wartości wskaźników zanieczyszczeń zawartych w ściekach) przyjęto związki azotu, związki fosforu, zawiesiny ogólne oraz zanieczyszczenia wyrażone jako BZT₅ oraz ChZT ścieków.

Określenie parametrów funkcji logarytmicznej umożliwia oszacowanie cen cienia produktów niepożądanych w każdej z analizowanych oczyszczalni ścieków. Obliczenie wartości cen cienia wymaga przyjęcia ceny referencyjnej pożądanego produktu, czyli ścieków oczyszczonych. Chociaż wartość tego produktu nie jest uwarunkowana rynkowo, jednak można przyjąć, że ceny cienia będą zależały od rodzaju odbiornika ścieków oraz potencjalnego wykorzystania wód tego odbiornika. W ten sposób ścieki oczyszczone mogą otrzymać cenę referencyjną zależną od rodzaju odbiornika, co zostało pokazane w tabeli 2.

Tabela 2. Ceny referencyjne ścieków oczyszczonych oraz ceny cienia zanieczyszczeń zawartych w ściekach nieoczyszczonych [14]
Table 2. Reference prices of treated wastewater and shadow prices of raw wastewater pollutants [14]

Odbiornik ścieków	Cena referencyjna ścieków oczyszczonych, euro/m ³	Cena cienia grupy zanieczyszczeń				
		azot, euro/kgN	fosfor, euro/kgP	zawiesiny, euro/kg	BZT ₅ , euro/kgO ₂	ChZT, euro/kgO ₂
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
Odzyskanie wody ze ścieków	1,5	-26,182	-79,268	-0,010	-0,058	-0,140

Tabela 3. Efekty środowiskowe oczyszczania ścieków [14]
Table 3. Environmental benefits of wastewater treatment [14]

Grupa zanieczyszczeń	Ilość zanieczyszczeń usuniętych w ciągu roku	Roczny efekt środowiskowy		Struktura efektu środowiskowego, %
		euro	euro/m ³	
Azot	4287717 kgN	98133996	0,481	59,6
Fosfor	917895 kgP	50034733	0,245	30,4
Zawiesiny	60444987 kg	448098	0,002	0,3
BZT ₅	59635275 kgO ₂	2690421	0,013	1,6
ChZT	113510321 kgO ₂	13364429	0,066	8,1
Razem		164671677	0,807	100,0

Dane zamieszczone w tabeli 2 pokazują, że ceny cienia pięciu grup zanieczyszczeń zawartych w ściekach mają wartości ujemne, odzwierciedlające straty uniknięte w środowisku wodnym, czyli określające efekty środowiskowe. Biorąc pod uwagę środowiskowy punkt widzenia, ceny cienia mogą być interpretowane pozytywnie, ponieważ odzwierciedlają straty, które zostały uniknięte lub też korzyści środowiska wodnego wynikające z odprowadzania ścieków oczyszczonych, które nie powodują jego zanieczyszczenia. Największe efekty środowiskowe wynikają z odprowadzania ścieków oczyszczonych na tereny mokradła, ponieważ są to obszary szczególnie wrażliwe na eutrofizację. Zatem zapobieganie eutrofizacji wód odbiornika, przez odprowadzanie do niego ścieków oczyszczonych, pozwala na zahamowanie tego zjawiska. Podobnie odzyskiwanie wody ze ścieków daje znaczące efekty środowiskowe, ponieważ zmniejsza presję zanieczyszczeń zawartych w ściekach na wody powierzchniowe i w ten sposób zmniejsza straty w środowisku wodnym. Najmniejsze efekty środowiskowe uzyskuje się przy odprowadzaniu ścieków oczyszczonych do morza, co wynika ze znacznego rozcieńczenia i rozproszenia ścieków w tego rodzaju odbiorniku.

W celu obliczenia wartości parametrów zastosowanej w analizowanym modelu funkcji logarytmicznej posłużono się komputerowym modelem programowania liniowego GAMS z CPLEX solver [15]. Biorąc pod uwagę ładunek zanieczyszczeń usuniętych w procesie oczyszczania ścieków oraz ceny cienia każdego rodzaju zanieczyszczeń zawartych w ściekach, w zależności od rodzaju odbiornika, do którego są odprowadzane, można obliczyć całkowity efekt środowiskowy uzyskany dzięki oczyszczaniu ścieków, co pokazano w tabeli 3.

Jak wynika z tabeli 3, największe efekty środowiskowe można uzyskać usuwając ze ścieków związki azotu i fosforu, ponieważ powodują one eutrofizację wód odbiornika oraz ograniczają bioróżnorodność przez stymulowanie

wzrostu glonów. Drugie pod względem wartości efekty środowiskowe uzyskuje się w odbiorniku ścieków poprzez usunięcie ze ścieków substancji organicznych (określonych za pomocą BZT₅ i ChZT). Substancje organiczne stanowią pożywkę dla mikroorganizmów w odbiorniku ścieków, co pociąga za sobą znaczne zużycie tlenu rozpuszczonego prowadzące do jego niedoboru w wodzie. Najmniejsze efekty środowiskowe uzyskuje się natomiast w rezultacie usuwania ze ścieków zawiesin. Wszystkie wody śródlądowe zawierają zawiesiny pochodzące z erozji. Obecność zawiesin w odbiorniku ścieków jest niebezpieczna tylko wtedy, gdy ich zawartość jest bardzo duża i utrzymuje się przez dłuższy czas.

W ostatniej kolumnie tabeli 3 przedstawiono strukturę efektu środowiskowego. Jak wynika z analizy tych danych, największy udział (prawie 60%) w uzyskaniu efektu środowiskowego ma usuwanie ze ścieków związków azotowych. Kolejnym znaczącym rodzajem zanieczyszczenia jest fosfor, którego usunięcie daje 30% efektu środowiskowego. Należy zauważyć, że usuwanie tych związków biogenych daje najwięcej (aż 90%) efektów środowiskowych, uzyskiwanych w procesie oczyszczania ścieków. Dzieje się tak dlatego, że temu rodzajowi zanieczyszczeń zawartych w ściekach odpowiadają najwyższe ceny cienia (tab. 2). Chociaż znaczna ilość zawiesin jest usuwana w procesach oczyszczania ścieków, ich niskie ceny cienia oznaczają niewielki wkład procentowy (0,3%) w uzyskanie całkowitego efektu środowiskowego. Udział usuwania substancji organicznych (BZT₅, ChZT) w uzyskaniu całkowitego efektu środowiskowego wynosi jedynie 9,7%, ponieważ ich ceny cienia są względnie niskie. Jak wynika z danych zebranych w tabeli 3, całkowity jednostkowy efekt środowiskowy uzyskany dzięki oczyszczaniu ścieków wynosi 0,807 euro/m³. Jego wartość odpowiada wskaźnikowi jednostkowych strat ekologicznych w środowisku wodnym unikniętych dzięki oczyszczaniu ścieków.

Podsumowanie

W tabeli 4 przedstawiono zalety i wady trzech analizowanych metod określania wartości wskaźnika strat jednostkowych spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych. Dotychczas do szacowania tych strat wykorzystywano w Polsce powszechnie metodę wskaźnikową, która daje możliwość stosowania jej na terenie całego kraju, jednak określona w ten sposób wartość wskaźnika ma zbyt ogólny charakter. Metoda wyceny warunkowej umożliwia określenie – za pomocą wywiadu bezpośredniego – wskaźnika strat jednostkowych w konkretnej gminie i została praktycznie zastosowana w kilku gminach województwa podlaskiego.

Z porównania analizowanych metod określania wartości wskaźnika jednostkowych strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych wynika, że metoda wskaźnikowa daje zbyt ogólne wyniki, w porównaniu z metodą wyceny warunkowej, a z kolei wadą metody wyceny warunkowej są długie i kosztowne oraz stwarzające możliwość stronniczości badania ankietowe. Tych wad pozbawiona jest metoda ceny cienia, która opiera się na aktualnych danych statystycznych i nie wymaga badań ankietowych.

Z przytoczonego przykładu struktury wpływu usuwania różnych rodzajów zanieczyszczeń ze ścieków na stan wód w rejonie Walencji wynika, że największy wpływ miały związki azotu i fosforu (około 90%), stąd też ich usuwanie ze ścieków daje największe efekty środowiskowe.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że ze względu na dokładność oszacowania wartości i określenia struktury wskaźnika strat jednostkowych,

Tabela 4. Porównanie metod określania wartości wskaźnika strat jednostkowych spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych

Table 4. Comparative analysis of methods for determining index of unit losses caused by surface water pollution

Metoda	Zalety	Wady
Wskaźnikowa	prosta kalkulacja wartości wskaźnika na podstawie literatury fachowej; możliwość stosowania na terenie całego kraju	pośredni sposób obliczania wartości wskaźnika; zbyt ogólny charakter wskaźnika
Wyceny warunkowej	określenie wartości wskaźnika w sposób bezpośredni na terenie wybranej gminy lub jednostki osadniczej	konieczność przeprowadzenia kosztownych i czasochłonnych badań ankietowych metodą wywiadu bezpośredniego; deklaracja gotowości do zapłaty nie daje gwarancji zapłaty
Ceny cienia	ustalenie wpływu poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń zawartych w ściekach na efekt środowiskowy uzyskany w odborniku ścieków; możliwość określenia wartości i struktury wskaźnika w przypadku pojedynczej oczyszczalni ścieków i wykorzystania go do jej projektowania	określenie wartości wskaźnika w sposób pośredni na podstawie przyjętego modelu matematycznego procesu oczyszczania ścieków; przyjęcie hipotetycznych cen referencyjnych w zależności od rodzajów odbornika ścieków

w przypadku pojedynczej oczyszczalni ścieków, największe możliwości daje metoda ceny cienia. Stosowanie tej metody w polskich warunkach wymaga opracowania matematycznych podstaw rozwiązania tego problemu oraz programów komputerowych, umożliwiających jej praktyczne wykorzystanie.

LITERATURA

- J. ŚLESZYŃSKI: Ekonomiczne problemy ochrony środowiska. Wydawnictwo ARIES, Warszawa 2000.
- R. MIŁASZEWSKI: Zastosowanie analiz ekonomicznych w ochronie jakości wód powierzchniowych. W: Z. DYMA-CZEWSKI, J. JEŻ-WALKOWIAK, M. NOWAK, A. URBA-NIAK [red.]: Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód. Oddział Wielkopolski PZITS, Poznań 2018, ss. 51–64.
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities* 2000, Vol. 43, L 327.
- B. POSKROBKO: Wstępna koncepcja ekologiczno-ekonomicznej oceny inwestycji. W: M.J. GROMIEC [red.]: Ekonomia ochrony wód. Polski Komitet ds. IAWPRC (obecnie IWA) przy IMGW, Warszawa 1991.
- J. FAMIELEC: Straty gospodarcze spowodowane zanieczyszczeniem środowiska naturalnego w Polsce w warunkach transformacji gospodarczej. Część 1. Akademia Ekonomiczna w Krakowie, Kraków 2001.
- R. MIŁASZEWSKI, K. RAUBA: Zastosowanie metod wartościowania środowiska przyrodniczego jako instrumentu ekonomicznego w oczyszczaniu ścieków. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2015, nr 4, ss. 142–144.
- Ochrona Środowiska, Informacje i Opracowania Statystyczne 2017. GUS, Warszawa 2017.
- M. GENIUS, M. MANIOUDAKI, E. MOKAS, E. PANTAGAKIS, D. TAMPAKAKIS, K.P. TSAGARAKIS: Estimation of willingness to pay for wastewater treatment. *Water Science and Technology: Water Supply* 2005, Vol. 5, No. 6, pp. 105–113.
- Ocena gotowości do zapłaty za oczyszczanie ścieków i zamykanie obiegów wodnych. Sprawozdanie z realizacji polsko-greckiego projektu badawczego, Politechnika Białostocka, Białystok 2008 (praca niepublikowana).
- K. RAUBA, A. BRULIŃSKA, R. MIŁASZEWSKI: Badanie gotowości do zapłaty za poprawę standardu oczyszczania i odprowadzania ścieków w gminie Śniadowo w województwie podlaskim. *Gospodarka Wodna* 2018, nr 8, ss. 234–238.
- R. FÄRE, S. GROSSKOPF, C.A.K. LOVELL, S. YAI-SAWARNG: Derivation of shadow prices for undesirable outputs: A distance function approach. *The Review of Economics and Statistics* 1993, Vol. 75, No. 2, pp. 374–380.
- N.V. HA, S. KANT, V.W. MACLAREN: Shadow prices of environmental outputs and production efficiency of household-level paper recycling units in Vietnam. *Ecological Economics* 2008, Vol. 65, No. 3, pp. 98–110.
- E. REIG, A. PICAZO, F. HERNANDEZ: The calculation of shadow prices for industrial wastes using distance functions: An analysis for Spanish ceramic pavement firms. *International Journal of Production Economics* 2000, Vol. 22, pp. 277–285.
- F. HERNANDEZ-SANCHO, M. MOLINOS-SENATE, R. SALA-GARRIDO: Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: An empirical approach for Spain. In: V. TSIHRINTZIS, K. TSAGARAKIS [Eds.]: Asset Management of Medium and Small Wastewater Utilities. International Water Association and Democritus University of Thrace, Alexandroupolis (Greece) 2009.
- T. CASASUS, M. MOCHOLI, R.SALA: Economic optimization with GAMS. *Computer Higher Education Economics Review* 1996, Vol. 10, No. 2, pp. 2–8.

Miłaszewski, R. Comparison of Methods for Determining Ecological Losses Caused by Surface Water Pollution with Wastewater. *Ochrona Środowiska* 2018, Vol. 40, No. 4, pp. 31–36.

Abstract: Assessment of ecological losses caused by surface water contamination forms the basis for establishing the environmental benefit of wastewater treatment. This benefit is defined as the amount of losses avoided in the aquatic environment due to treatment of the discharged wastewater. Estimation of these losses is quite complex and requires prior determination of unit loss indexes. To this end, an analysis of the three methods for estimating the index value of the unit loss caused by surface water pollution was conducted, *i.e.* the index method, the contingent valuation method and the shadow price method. As a result, the advantages and disadvantages of each method were determined as well as their applicability under local Polish conditions was assessed. Based on literature data, the index method makes it possible to estimate the nationwide index of unit losses caused by surface water pollution. The

contingent valuation method, on the other hand, allows estimation of the index value for a single municipality on the basis of interview surveys. Finally, the shadow price method facilitates determination of the unit environmental benefit, the value of which corresponds to the index of the unit loss avoided in the aquatic environment in consequence of wastewater treatment. For the latter, the structure of impact on environmental benefits of particular pollutant groups from the wastewater (nitrogen, phosphorus, suspended solids, organic compounds) was determined. The removal of nitrogen and phosphorus compounds was demonstrated to have the greatest effect. The comparison of methods for estimating the index values of unit losses due to water pollution demonstrated the shadow price method to have the highest potential in terms of its accuracy and capacity to estimate size and structure of the unit loss index for a single wastewater treatment plant.

Keywords: Water quality protection, wastewater treatment, cost-benefit analysis, index method, contingent valuation method, shadow price method, comparative analysis.