



## **Ocena ekonomicznej efektywności komunalnej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoly**

*Dariusz Boruszko, Rafał Miłaszewski, Paweł Piotrowski*  
*Politechnika Białostocka*

### **1. Wstęp**

Wybór systemu odprowadzania i oczyszczania ścieków dla danej gminy zależy przede wszystkim od rodzaju zabudowy na jej obszarze. W przypadku zabudowy zwartej jest uzasadnione stosowanie zbiorowego systemu odprowadzania i oczyszczania ścieków. Na terenach o zabudowie rozproszonej stosowanie sieci kanalizacyjnej jest nieuzasadnione pod względem ekonomicznym, gdyż wzrasta wtedy wskaźnik długości sieci przypadającej na 1 mieszkańca. W tym przypadku bardziej efektywne, pod względem ekonomicznym, będzie stosowanie indywidualnych systemów do gromadzenia i oczyszczania ścieków. Do tych systemów zalicza się zbiorniki bezodpływowe oraz przydomowe oczyszczalnie ścieków.

Na części obszaru gminy Sokoly w województwie podlaskim, gdzie występuje zabudowa rozproszona, stosuje się przydomowe oczyszczalnie ścieków. Natomiast na pozostałym obszarze tej gminy, gdzie istnieje zabudowa zwarta, zastosowano zbiorczą kanalizację z komunalną oczyszczalnią ścieków. Taki podział sprawia, że w gminie Sokoly system odprowadzania ścieków zależy od gęstości zabudowy oraz gęstości zaludnienia.

W artykule przeprowadzono analizę wielkości i struktury nakładów inwestycyjnych poniesionych na budowę komunalnej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoly oraz kosztów jej eksploatacji. Za pomocą wskaźnika efektywności bezwzględnej, dokonano oceny opłacalności realizacji tej inwestycji. Dodatkowo określono wskaźnik efektywności kosztowej dla tej oczyszczalni.

## **2. Gospodarka ściekowa w gminie Sokoly**

Gmina Sokoly zajmuje obszar 156 km<sup>2</sup>, co stanowi ok. 12% powierzchni powiatu wysokomazowieckiego. Na obszarze gminy znajduje się 48 miejscowości, które zamieszkuje, według danych statystycznych GUS na dzień 31.12.2010 roku, 5819 osób. Aktualnie około 1515 osób mieszka w miejscowości Sokoly [5].

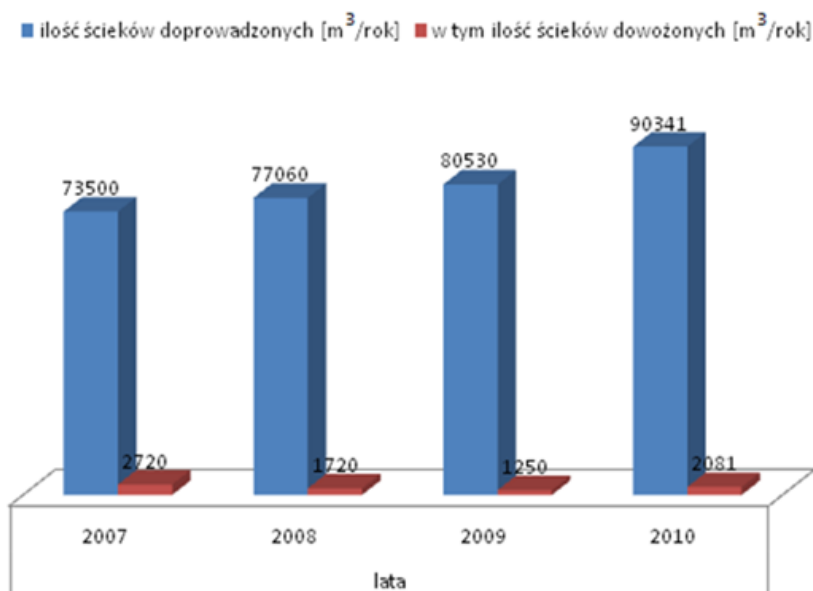
System zbiorczy kanalizacji sanitarnej na terenie gminy Sokoly obejmuje tylko wsie: Sokoly, Kruszewo Brodowo oraz Kruszewo Głaby. Całkowita długość sieci wynosi 18,9 km, z 342 przyłączami kanalizacyjnymi, których łączna długość wynosi 6,8 km. Sieć kanalizacyjna obsługuje około 1860 mieszkańców, co stanowi 32% wszystkich mieszkańców gminy [5]. Pozostała część gminy Sokoly nie jest objęta systemem zbiorczym i na tym obszarze stosuje się indywidualne systemy gromadzenia lub oczyszczania ścieków.

Obecnie na terenie gminy, w miejscowości Sokoly, funkcjonuje mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia ścieków, którą oddano do eksploatacji w 2003 roku. Zarządcą oczyszczalni ścieków jest Spółdzielnia Kółek Rolniczych w Sokołach, a właścicielem gmina Sokoly. Do oczyszczalni za pomocą systemu kanalizacyjnego, dopływają ścieki z podłączonych miejscowości, natomiast ścieki ze zbiorników bezodpływowych, położonych na terenie gminy, są dowożone do oczyszczalni taborem asenizacyjnym. Do kanalizacji dostarczane są również ścieki przemysłowe, w ilości 13 m<sup>3</sup>/d, powstające w zakładzie przemysłowym „Smakowita” w Sokołach, produkującym wyroby mięsne.

Zmiany ilości ścieków doprowadzanych do zbiorczej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoly w latach 2007/2010 przedstawiono na rys. 1.

Proces oczyszczania ścieków realizowany jest w układzie mechaniczno-biologicznym z biologiczną defosfatacją, nityfikacją i denityfikacją [5].

Ścieki oczyszczone odprowadzane są do rowu melioracyjnego, który znajduje się w odległości około 7 km od rzeki Awissy.



**Rys. 1.** Ilości ścieków bytowych dopływających i dowożonych do zbiorczej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoły, Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

**Fig. 1.** Quantity of domestic wastewater flowing and transported into the Sokoły collective municipal wastewater treatment plant Source: own study based on [5]

### 3. Efekt ekologiczny oczyszczalni ścieków

Do najważniejszych efektów ekologicznych należy zaliczyć ochronę środowiska wodnego przed zanieczyszczeniem, utrzymanie na odpowiednim poziomie zdrowia ludzi i zwierząt, umożliwienie użytkowania zasobów wodnych do różnych celów, ochronę budowli wodnych przed korozją oraz usuwanie zanieczyszczeń zawartych w ściekach [8].

Wymienione efekty ekologiczne można wyrazić za pomocą strat unikniętych w środowisku wodnym dzięki funkcjonowaniu oczyszczalni ścieków.

Przy oszacowaniu wielkości strat spowodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych można posługiwać się wskaźnikiem jednostkowych strat ogólnokrajowych. Wielkość tego wskaźnika można określić przyjmując następujące założenia:

- całkowite straty powodowane zanieczyszczeniem środowiska w 2010 roku stanowią 3% PKB [1], czyli  $0,03 * 1415,4 \text{ mld zł/rok} = 42,46 \text{ mld zł/rok}$ ,
- straty powodowane zanieczyszczeniem wód powierzchniowych stanowią 15% całkowitych strat powodowanych zanieczyszczeniem środowiska [9], czyli  $0,15 * 42,46 \text{ mld zł/rok} = 6,37 \text{ mld zł/rok}$ ,
- 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 [6], czyli  $0,7 * 6,37 \text{ mld zł/rok} = 4,46 \text{ mld zł/rok}$ ,
- ilość ścieków nieoczyszczonych oraz niedostatecznie oczyszczonych (tylko mechanicznie) wyniosła  $719,4 \text{ mln m}^3$  w 2010 roku [2].

Po uwzględnieniu przyjętych założeń, wartość wskaźnika jednostkowych strat ogólnokrajowych ( $s_j$ ), powodowanych zanieczyszczeniem wód powierzchniowych ze źródeł punktowych, można wyznaczyć następująco:

$$s_j = \frac{4460 \text{ mln zł/rok}}{719,4 \text{ mln m}^3/\text{rok}} = 6,20 \text{ zł/m}^3 \quad (1)$$

Wskaźnik ( $s_j$ ) umożliwia orientacyjne oszacowanie strat spowodowanych odprowadzaniem nieoczyszczonych ścieków ze źródeł punktowych.

#### **4. Nakłady inwestycyjne na budowę komunalnej oczyszczalni ścieków w Gminie Sokoły**

Wielkości i strukturę nakładów inwestycyjnych, poniesionych na budowę komunalnej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoły, przedstawiono w tabeli 1.

Z danych przedstawionych w tabeli 1 wynika, że największymi udziałami w strukturze nakładów na budowę komunalnej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoły charakteryzowały się: bioreaktor I stopnia (29,81%), bioreaktor II stopnia (13,91%), oraz budynek techniczny (28,49%). Najmniejszy udział w całkowitych nakładach inwestycyjnych przypadają na zielen na terenie oczyszczalni (0,39%), ogrodzenia (0,51%) oraz na sieci energetyczne (0,24%). Analiza wykazała stosunkowo wy-

soki udział kosztów opracowania dokumentacji projektowej wynoszący ponad 5%.

**Tabela 1.** Nakłady inwestycyjne na komunalną oczyszczalnię ścieków w gminie Sokoły (poziom cen 2010 roku)

**Table 1.** Investment outlays on the municipal wastewater treatment plant in Sokoły (price level for 2010)

Lp.	Elementy nakładów inwestycyjnych	Wielkości nakładów inwestycyjnych, zł	Struktura nakładów inwestycyjnych, %
1.	Modernizacja przepompowni	127.920	4,09
2.	Bioreaktor I stopnia	931.602	29,81
3.	Budynek techniczny	890.028	28,49
4.	Bioreaktor II stopnia	434.805	13,91
5.	Sieci energetyczne na terenie oczyszczalni	7.380	0,24
6.	Sieci technologiczne i wodno-kanalizacyjne	71.340	2,28
7.	Drogi na terenie oczyszczalni	127.920	4,09
8.	Zieleń na terenie oczyszczalni	12.300	0,39
9.	Ogrodzenie	15.990	0,51
10.	Kontener na odpady	18.450	0,59
11.	Roboty rozbiórkowe i adaptacyjne	109.470	3,50
12.	Rozruch oczyszczalni	194.340	6,22
14.	Inne wydatki	22.911	0,73
15.	Dokumentacja projektowa	160.974	5,15
	Razem	3.125.430	100

Źródło: opracowanie własne na podstawie informacji uzyskanych w Urzędzie Gminy w Sokolach

## 5. Koszty eksploatacji komunalnej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoły

Wysokość rocznych kosztów eksploatacji oczyszczalni ścieków zależy od następujących czynników [8]:

- rodzaju i przepustowości oczyszczalni,
- zastosowanej technologii oczyszczania ścieków,
- efektywności oczyszczania ścieków,
- składu zanieczyszczeń zawartych w ściekach.

Strukturę rocznych kosztów eksploatacji komunalnej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoły przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Koszty eksploatacji komunalnej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoły (poziom cen 2010 rok)

**Table 2.** Operating costs of the Sokoły municipal wastewater treatment plant (price level for 2010)

Lp.	Źródła kosztów	Wielkości kosztów, zł	Struktura kosztów, %
1.	Energia elektryczna	25 564	26,37
2.	Zużycie materiałów	642	0,66
3.	Wynagrodzenia	33 906	34,97
4.	Ubezpieczenia społeczne	6 378	6,58
5.	Usługi obce	13 347	13,77
6.	Podatki i opłaty	1 870	1,93
7.	Świadczenia na rzecz pracowników	1 048	1,08
8.	Pozostałe koszty	500	0,51
9.	Koszty ogólnozakładowe	13 696	14,13
10.	Razem	96 951	100

Źródło: opracowanie własne na podstawie informacji uzyskanych w Urzędzie Gminy w Sokołach.

Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 2, największy udział (około 35%) w całkowitych rocznych kosztach eksploatacji przypada na koszty płac. Wysoki jest również udział kosztów zużycia energii

elektrycznej wynoszący 26,37%. Najniższy, 0,66% udział w ogólnych kosztach eksploatacji to koszt zużycia materiałów.

## 6. Określenie wskaźnika efektywności bezwzględnej dla komunalnej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoły

Wskaźnik efektywności bezwzględnej jest liczony jako iloraz strat unikniętych w środowisku wodnym do nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji z uwzględnieniem amortyzacji i stopy dyskontowej. Wprowadzona, do formuł określających efektywność ekonomiczną, wielkość strat unikniętych pozwala określić nie tylko efektywność ekonomiczną projektowanej inwestycji, ale również ekologiczną. Poskrobko [6] proponuje uproszczoną formułę do wyznaczenia wskaźnika efektywności bezwzględnej, czyli [6]:

$$E = \frac{P+S_u}{J(r+s)+K_e}, \quad (2)$$

gdzie:

E – wskaźnik efektywności bezwzględnej inwestycji (wielkość bezwymiarowa),

P – efekty produkcyjne oczyszczania ścieków, obejmujące surowce odzyskane ze ścieków i nowo wytworzone np. biogaz, zł/rok,

$S_u$  – roczne straty w środowisku wodnym, których uniknięto w wyniku realizacji i eksploatacji oczyszczalni ścieków, zł/rok,

J – wartość nakładów inwestycyjnych na budowę oczyszczalni ścieków, zł,

r – stopa dyskontowa, 1/rok,

s – średnia stopa amortyzacji, 1/rok,

$K_e$  – przewidywany roczny koszt eksploatacji (bez amortyzacji) oczyszczalni ścieków [zł/rok].

Warunkiem ekonomicznej efektywności, określonej za pomocą wzoru (2), jest uzyskanie wartości wskaźnika efektywności bezwzględnej  $E \geq 1$ .

W celu określenia wielkości wskaźnika efektywności bezwzględnej dla oczyszczalni ścieków w Sokołach, ustalono wartości wszystkich parametrów podanych we wzorze (2).

1. Wielkości strat w środowisku wodnym ( $S_u$ ), unikniętych w rezultacie funkcjonowania oczyszczalni ścieków w gminie Sokoły, określono przy użyciu wskaźnika jednostkowych strat ogólnokrajowych (1) oraz przy założeniu, że stopień oczyszczania ścieków wynosił 95%. Stąd:

$$S_u = 247,51 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 365 \text{ d/rok} \cdot 0,95 \cdot 6,20 \text{ zł/m}^3 = 532.109 \text{ zł/rok} \quad (3)$$

2. Komunalna oczyszczalnia ścieków w Sokołach nie wytwarza żadnych produktów w postaci biogazu lub kompostu, dlatego przy określeniu wskaźnika efektywności bezwzględnej oczyszczalni ścieków w Sokołach parametr efektów produkcyjnych (P) zostały pominięty.

3. Wielkości nakładów inwestycyjnych (J) i rocznych kosztów eksploatacji ( $K_e$ ) zostały przyjęte zgodnie z danymi zawartymi w tabelach: 1 i 2 w wysokości  $J = 3.125.430 \text{ zł}$  i  $K_e = 96.951 \text{ zł/rok}$ .

4. Wielkość stopy dyskontowej (r) została oparta o dane z literatury fachowej w zakresie inwestycji komunalnych oczyszczalni ścieków [3]. Stopę dyskontową przyjęto w wysokości:

$$r = 5\% \quad (4)$$

5. Średnia stopa amortyzacji (s) dla oczyszczalni ścieków komunalnych została przyjęta w oparciu o dane pochodzące z literatury [3]. Ustalono ją na poziomie:

$$s = 3,5\% \quad (5)$$

Uwzględniając wartości ustalonych powyżej parametrów, można określić, zgodnie ze wzorem (2), wartość wskaźnika efektywności bezwzględnej dla komunalnej oczyszczalni ścieków gminy Sokoły:

$$E = \frac{532.109}{3.125.430(0,05+0,035) + 96.951} = 1,47 \quad (6)$$

Uzyskana wartość wskaźnika efektywności bezwzględnej  $E = 1,47$ , dla komunalnej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoły, spełnia warunek opłacalności inwestycji, czyli  $E \geq 1$ .



## 7. Określenie wskaźnika efektywności kosztowej

Analiza efektywności kosztowej stanowi modyfikację analizy kosztów i efektów. Znajduje ona zastosowanie w sytuacji, gdy wycena pieniężna efektów jest niemożliwa lub niewskazana. W procesie tej analizy koszty mierzone są w jednostkach pieniężnych, natomiast efekty nie podlegają ocenie wartościującej. Zastosowanie analizy efektywności kosztowej umożliwia tylko ocenę efektywności względnej i podjęcie decyzji o wyborze najkorzystniejszego wariantu realizacji zamierzonego przedsięwzięcia inwestycyjnego w obiektach ochrony wód.

Istnieje wiele sposobów liczenia wskaźników efektywności kosztowej. W przypadku, kiedy nie ma możliwości określenia wielkości nakładów związanych z budową oraz eksploatacją oczyszczalni w poszczególnych latach, średnioroczny koszt oczyszczania ścieków można określić za pomocą wzoru [4]:

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

gdzie:

$K_r$  – roczny koszt oczyszczania ścieków, zł/rok,

$J$  – nakłady inwestycyjne na budowę oczyszczalni ścieków, zł,

$r$  – stopa dyskontowa, 1/rok,

$s$  – stopa amortyzacji, 1/rok,

$K_e$  – roczne koszty eksploatacji oczyszczalni ścieków (bez amortyzacji), zł/rok.

Jednostkowy koszt oczyszczania ścieków ( $k_r$ ) otrzymujemy, po podzieleniu średniorocznego kosztu oczyszczania ścieków ( $K_r$ ) przez uzyskany efekt użytkowy, który w tym przypadku stanowi roczna ilość oczyszczonych ścieków ( $W$ ). Jest on obliczany za pomocą wzoru:

$$k_r = \frac{J \cdot (r + s) + K_e}{W} \quad (8)$$

gdzie:

$W$  – efekt użytkowy określony za pomocą rocznej ilości oczyszczonych ścieków, m<sup>3</sup>/rok.

W celu określenia wielkości wskaźnika jednostkowego kosztu oczyszczania ścieków dla komunalnej oczyszczalni ścieków w Sokołach, trzeba ustalić wszystkie wartości parametrów podanych we wzorze (8).

Wielkość efektu użytkowego, dla komunalnej oczyszczalni ścieków w Sokołach, została określona za pomocą ilości oczyszczonych ścieków w roku obliczeniowym i wyniosła:

$$W = 247,51 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 365 \text{ dni/rok} = 90.341 \text{ m}^3/\text{rok} \quad (9)$$

Wskaźnik średniorocznego kosztu oczyszczania ścieków dla komunalnej oczyszczalni ścieków w Sokołach może być określony w następujący sposób:

$$K_r = 3.125.430 (0,05+0,035) + 96.951 = 362.613 \text{ zł/rok} \quad (10)$$

Jednostkowy koszt oczyszczania ścieków dla komunalnej oczyszczalni ścieków w Sokołach wynosi:

$$k_r = \frac{3.125.430 (0,05+0,035)+96.951}{90.341} = 4,01 \text{ zł/m}^3 \quad (11)$$

Podobne wartości jednostkowych kosztów oczyszczania ścieków, jak w gminie Sokoły, stwierdzono w innych gminach województwa podlaskiego. Wartości wskaźnika ( $k_r$ ) kształtują się w tych gminach, w granicach 3,18-5,24 zł/m<sup>3</sup> [7].

## 8. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz zostały sformułowane następujące wnioski:

1. Efekt ekologiczny inwestycji w dziedzinie oczyszczania ścieków można określić, w sposób pośredni, za pomocą wielkości strat w środowisku wodnym unikniętych w rezultacie budowy i eksploatacji oczyszczalni ścieków.
2. Możliwe jest zastosowanie analizy kosztów i korzyści do oceny ekonomicznej efektywności inwestycji w dziedzinie oczyszczania ścieków. W praktyce, we wstępnej fazie projektowania, stosuje się formułę uproszczoną wskaźnika efektywności bezwzględnej. Umożliwia to ocenę opłacalności inwestycji.

3. Wskaźnik efektywności bezwzględnej dla komunalnej oczyszczalni ścieków w gminie Sokoły wynosi 1,47; zatem spełnia on warunek  $E \geq 1$ .
4. Analizę efektywności kosztowej można stosować do wyboru wariantu oczyszczalni ścieków, charakteryzującego się minimalnym kosztem. W praktyce, stosuje się w tym przypadku, wskaźnik jednostkowych rocznych kosztów oczyszczania ścieków.

## Literatura

1. **Famielec J. i in.:** *Straty gospodarcze spowodowane zanieczyszczeniem środowiska naturalnego w Polsce w warunkach transformacji gospodarczej*, cz. 2, maszynopis, Akademia Ekonomiczna, Kraków 2001.
2. *Ochrona środowiska, Informacje i opracowania statystyczne 2010*, GUS, Warszawa 2010.
3. **Miłaszewski R.:** *Ekonomika ochrony wód powierzchniowych*, Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok 2003.
4. **Miłaszewski R.:** *Ekonomiczna efektywność inwestycji w gospodarce wodno-ściekowej i ochronie wód*, w: *Materiały do studiowania ekonomiki zaopatrzenia w wodę i ochrony wód*, Cygler M. i Miłaszewski R. (red.), Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, Białystok 2008.
5. **Piotrowski P.:** *Analiza kosztów budowy i eksploatacji komunalnej oczyszczalni ścieków na przykładzie gminy Sokoły*, Praca inżynierska, Politechnika Białostocka, Białystok 2012.
6. **Poskrobko B.:** *Wstępna koncepcja ekologiczno-ekonomicznej oceny inwestycji*, w: *Ekonomika ochrony wód*, M.J. Gromiec (red.), Wyd. Polski Komitet ds. IAWPRC (obecnie IWA) przy IMGW, Warszawa 1991.
7. **Rauba K.:** *Możliwości adaptacji i zastosowania wyceny warunkowej w procesie wdrażania zasady zwrotu kosztów usług wodnych*, Rozprawa doktorska, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Falenty 2012.
8. **Roman M., Gromiec M.:** *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 2000.
9. **Symonowicz A.:** *Straty spowodowane degradacją środowiska*, „Ekonomia i Środowisko” 1994, nr 2 (5).

## **Evaluation of Economic Effectiveness of the Municipal Wastewater Treatment Plant in the Community of Sokoły**

### **Abstract**

Two methods for evaluation of economic effectiveness of water pollution control investments, as illustrated by the Podlaskie voivodeship municipality of Sokoły, are discussed in the paper. They include costs-benefit analysis (CBA) and cost-effectiveness analysis (CEA).

Initially, an analysis of the level and structure of investment expenditures incurred on construction of the municipal wastewater treatment plant is carried out. It shows that expenditures on bioreactors and the technical building jointly constitute the highest share of the total costs. In turn, analysis of the structure of operating costs of this wastewater treatment plant show that electric energy consumption costs as well as remuneration costs compose the greatest segment of the total real operating costs.

Evaluation of costs-benefits analysis of construction of the municipal wastewater treatment plant is carried out by means of the absolute effectiveness index. The ecological effect of this wastewater treatment plant was expressed by the level of losses generated by pollution of the water environment avoided in consequence of operations of the wastewater treatment plant.

The nation-wide unit loss index was applied to determine the level of the avoided losses. Thus calculated, the E absolute effectiveness index complied with the effectiveness terms, i.e.  $E \geq 1$ .

The cost effectiveness index for the municipal wastewater treatment plant in Sokoły was also determined. This index corresponds to the annual unit wastewater treatment costs.