

METODA OCENY EFEKTYWNOŚCI PROJEKTÓW INWESTYCYJNYCH OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W OPARCIU O ANALIZĘ LCC

Anatoli Hurynovich¹

¹ Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok, e-mail: a.gurinowicz@pb.edu.pl

STRESZCZENIE

Artykuł nawiązuje do aktualnych problemów oceny efektywności inwestycji projektów nowych oraz modernizacji istniejących oczyszczalni ścieków z uwzględnieniem aspektów optymalizacji kosztów oczyszczania ścieków. Wskazuje metodę oceny cyklu życia jako odpowiednie narzędzie wspomagające wybór najlepszego wariantu modernizacji oczyszczalni. Przedstawia charakterystykę metody kosztów cyklu życia (LCC) oraz przykłady zastosowania jej do oceny technologii oczyszczania ścieków.

Słowa kluczowe: koszt cyklu życia, inwestycje, oczyszczalnie ścieków.

APPLYING LCC METHODOLOGY FOR THE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF AN INVESTMENT OF PROJECTS OF THE SEWAGE TREATMENT PLANT

ABSTRACT

The article is referring to the current problems of the evaluation of the effectiveness of an investment of new plans and of the modernization of existing sewage treatment plants including aspects of the optimization of costs of the sewage treatment. He shows the modernization of the sewage treatment plant the Evaluation of the life cycle as the adequate tool assisting choice of the best variant or the level. He is presenting characteristics of LCC methodology and examples of using to the technology assessment the sewage treatment.

Keywords: life cycle cost, investment, sewage treatment plant.

WPROWADZENIE

Budownictwo oczyszczalni ścieków to znaczące inwestycje polegające na tworzeniu nowego lub modernizacji i rekonstrukcji istniejącego obiektu, będącego ważnym elementem systemu kanalizacyjnego miast. Ocena celowości ich powstania powinna bazować na nowoczesnych metodach, prowadzących do potwierdzenia efektywności inwestycji, społecznych, ekologicznych i innych skutków budowy i eksploatacji. Przy podejmowaniu decyzji o inwestowaniu w budownictwo oczyszczalni ścieków powstaje konieczność sporządzenia długoterminowej prognozy funkcjonowania obiektu i analizy przepływów pieniężnych w ciągu całego okresu jej eksploatacji (cyklu życia). W literaturze można znaleźć wiele miar szacujących efektywność kosztową inwestycji oczyszczalni ścieków (Miłaszewski i in., 2009,

Ławińska, 2013, Yoshida i in., 2014 Fang i in., 2015). Znane są też statyczne i dynamiczne metody oceny ekonomicznej efektywności projektów inwestycyjnych: wartość zaktualizowana netto (Net Present Value – NPV), wewnętrzna stopa zwrotu (Internal Rate of Return – IRR), Analiza Kosztów i Korzyści (Benefits – Costs Ratio – BCR), metoda oceny kosztów cyklu życia LCC (Life Cycle Cost), które pozwalają przeprowadzić pełną analizę efektywności. Prezentowana ocena została przeprowadzona w ramach studium wykonalności (biznes planów) przygotowanego dla projektów inwestycyjnych wykonywanych w Kazachstanie. Analiza została przeprowadzona zgodnie z zaleceniami międzynarodowych norm: PN-EN 60300-3-3:2006 *Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań – Szacowanie Kosztu Cyklu Życia*; ISO 14040:2006 *Environmental management – Life cycle assessment –*

Principles and framework; EPA, Environmental and Cost Life Cycle Assessment of disinfection options for municipal wastewater treatment. Pre-sorted standard postage & fees paid EPA permit no. G-35EPA 600/R-14/377.

Celem artykułu jest prezentacja aspektów metodycznych LCC na przykładzie projektów inwestycyjnych oczyszczalni ścieków.

CYKL ŻYCIA (TRWAŁOŚCI) OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

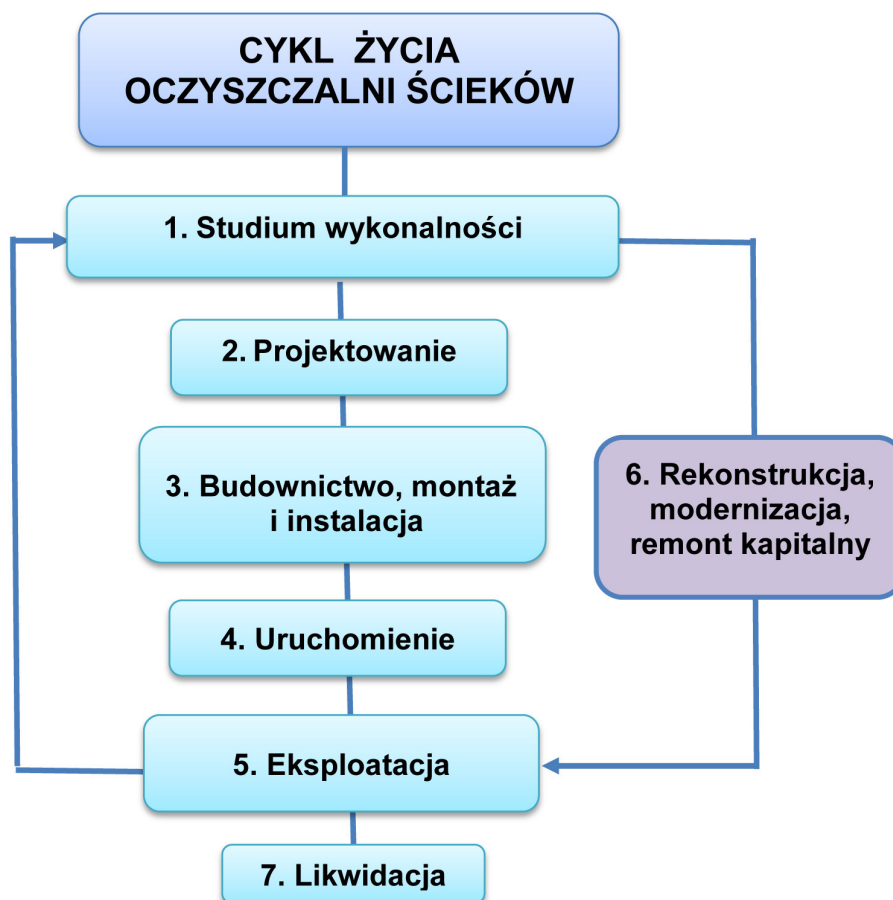
Cykl życia oczyszczalni ścieków - to okres, na który składają się następujące etapy: projektowanie, prace budowlane, montaż, instalacja i uruchomienie, eksploatacja (obejmująca obsługę techniczną oraz remonty profilaktyczne i bieżące), przebudowa, remont kapitalny i likwidacja (rys. 1).

Wchodzące w skład oczyszczalni ścieków elementy i podsystemy także mają swoje cykle życia, które są ze sobą wzajemnie powiązane w określony sposób. Wzajemne oddziaływa-

nie indywidualnych cykli życiowych tych elementów w jednej oczyszczalni ścieków wiąże się z tak zwanym efektem synergicznym, który może doprowadzać do zmniejszania długości życiowego cyklu, jak i przy odpowiednich warunkach eksploatacji – do powiększenia długości cyklu życiowego.

Głównym dokumentem analitycznym przy podejmowaniu decyzji o celowości inwestowania oczyszczalni jest studium wykonalności, wykazujące osiągnięcie wymaganego poziomu efektywności inwestycji. Na tym etapie przygotowania inwestycji winny być określone podstawowe parametry oczyszczalni: technologiczne i konstrukcyjno-budowlane, wielkość nakładów a także założone koszty eksploatacji obiektu. Zazwyczaj koszty opracowania studium wykonalności sięgają od 5% do 10% wartości prac projektowych, lecz pozwalają na zapobieżenie błędnych i nieracjonalnych decyzji oraz optymalizację kosztów całej inwestycji.

W trakcie wieloletniej eksploatacji może wystąpić konieczność przeprowadzenia rekonstrukcji obiektów lub wymiany zużytych urzą-



Rys. 1. Etapy cyklu życia oczyszczalni ścieków

dzeń technologicznych. Okres likwidacji jest zakończeniem cyklu życia oczyszczalni i początkiem budowy nowego obiektu.

KRYTERIA OCENY PRZY WYBORZE TECHNOLOGII, URZĄDZEŃ I SPOSOBU BUDOWY OBIEKTÓW

Podstawowym kryterium wyboru tej lub innej technologii są kryteria ZZP (Zielone zamówienia publiczne, 2013): „Oczyszczalnia ścieków musi spełniać normy dotyczące ścieków oczyszczonych, określone w dyrektywie w sprawie oczyszczania ścieków komunalnych lub standardy stosowane w regulacjach krajowych, jeżeli są one bardziej rygorystyczne”. Przy tym koszt budowy i wyposażenia nie może być dominującym czynnikiem wyboru.

Kompleksowe kryterium „koszt – jakość – pewność” budowy i wyposażenia powinno opierać się na doświadczeniu ich pracy wg. danych od producenta, gwarantującego odpowiedni okres pracy urządzenia, przy zachowaniu wymaganych parametrów oczyszczenia. Okres użytkowania wyposażenia, który sięga zazwyczaj od 10 do 30 lat - powinien być skorelowany z trwałością budynków i budowli, których okres wynosić może nawet 50 lat.

Kryterium doboru stosowanych materiałów budowlanych i wyposażenia, powinno uwzględniać ich odporność na oddziaływanie destrukcyjnego środowiska w jakim pracują: chemicznej i biologicznej korozji, oddziaływania warunków atmosferycznych, w tym promieniowania ultrafioletowego, temperatur wysokich i niskich, jak również możliwości powstawania kataklizmów naturalnych (powodzi, huraganów, trzęsień ziemi i in.).

Przy ocenie efektywności wyposażenia oczyszczalni (naziemnych, podziemnych lub kombinowanych) kryteria powinny być przyjmowane w zależności od miejsca rozmieszczenia oczyszczalni, reliefu geologicznego miejscowości czy konieczności budowy kolektora głównego

grawitacyjnego albo ciśnieniowego z przepompowniami ścieków. Kryterium kosztowe przy doborze technologii i materiałów budowlanych powinno natomiast uwzględniać ich właściwości konstrukcyjne, trwałość i obecność systemów automatyki oraz telemechaniki.

OPTIMALIZACJA CYKLU ŻYCIA OCZYSZCZALNI

Celem metody LCC jest identyfikacja i wybór najbardziej efektywnej wersji inwestycji z szeregu proponowanych opcji alternatywnych, przy minimalnym całkowitym koszcie wszystkich etapów cyklu życia. LCC jest najbardziej obiektywnym miernikiem oceny projektu, ale w praktyce obliczenia w metodzie LCC mogą przysporzyć pewne trudności. Analiza LCC pozwala ocenić koszty i proces selekcji, na podstawie całkowitego kosztu, a nie tylko kosztu początkowego (wyposażenia i prac budowlanych). Często koszty operacyjne przekraczają koszt nabycia urządzeń i wyposażenia. Najtrudniejszym zadaniem jest oszacowanie kosztów operacyjnych ze względu na dużą liczbę czynników, które wpływają na rachunek efektywności. Wśród tych czynników należy wyróżnić: wewnętrzne (niezawodność, zgodność z przepisami, łatwość konserwacji, wielkość zużycia energii, itp.) jak i zewnętrzne, na które firma nie ma wpływu (ceny paliw i energii, zasobów i materiałów, wynagrodzenia, poziom inflacji, kwalifikacji personelu, itp.). Często koszty energii zużywanej przez urządzenia przekraczają 50% całkowitych kosztów pracy w cyklu życia.

Obliczenie LCC oczyszczalni obejmuje dostatecznie długi okres eksploatacji urządzeń i konstrukcji – około 50 lat. W związku z tak długim okresem należy wziąć pod uwagę różnice wartości przepływów pieniężnych spowodowane inflacją. Przy obliczaniu zastosowano sposób odwrotny do dyskontowania, polegający na określeniu wartości inwestycji na koniec okresu obliczeniowego. Ogólna postać wzoru na obliczenie kosztów LCC ma następującą postać:

$$LCC = K_C + K_0 + \sum_1^T E_t (1+r)^t - A_{ct} - \sum_1^n A_{ot_n} + \sum_1^n K_{ot_n} (1+r)^{t_n} \quad (1)$$

gdzie: K_C – koszt budowy obiektów, euro;
 K_{ot_n} – koszt wyposażenia technologicznego na t_n – rok terminu eksploatacji, odpowiedni n – okresowi zamiany wyposażenia, euro;

K_0 – początkowe koszty wyposażenia inwestycji, euro;
 E_t – roczne koszty eksploatacyjne w t - roku, euro;
 T – okres eksploatacji (cyklu życia), lata;

T_C – okres eksploatacji konstrukcji budowlanych, lata;
 T_{O_n} – okres eksploatacji wyposażenia, lata;
 $n = |T_C/T_{O_n}|$ – ilość okresów zamiany wyposażenia za rozliczeniowy termin eksploatacji budów;
 r – stopa procentowa, równa stawce refinansowania.

$$A_{ot_n} = \sum_1^{T_{O_n}} \frac{K_{ot_n}}{T_{O_n}} (1 + r)^{t_n} \quad (4)$$

Na przykładzie projektu budowy oczyszczalni dla miasta Ust Kamenogorsk (Kazachstan) była przeprowadzona analiza LCC trzech wariantów- ofert, zaproponowanych przez różnych oferentów. W tabeli 1 przedstawiono krótki opis proponowanych wariantów z zaznaczeniem technologii, wyposażenia i konstrukcji obiektów. W tabeli 2 przedstawiono wyniki obliczeń dokonanych z wykorzystaniem programu komputerowego do obliczania LCC.

Roczne koszty eksploatacyjne, w tym podatku VAT oblicza się według wzoru:

$$E_t = (C_e + C_n + C_p + C_w) \text{ VAT} \quad (2)$$

gdzie: C_e – koszty energii, euro

C_w , – wynagrodzenia pracowników, euro;
 C_n – koszt bieżących napraw, inne koszty, euro;
 C_p – nakłady na materiały eksploatacyjne i reagenty, euro;

Odpisy amortyzacyjne konstrukcji budowlanych – podlega indeksacji struktury kosztów określonych wzorem:

$$A_{ct} = \sum_1^T \frac{K_c}{T} (1 + r)^t \quad (3)$$

Odpowiednio, odpisy amortyzacyjne urządzeń i instalacji:

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Każdy projekt inwestycyjny oczyszczalni ścieków wymaga oceny jego efektywności. Aby tego dokonać, należy rozważyć minimum dwa-trzy alternatywne warianty.

Metoda oceny kosztów cyklu życia jest do tego optymalnym narzędziem, biorąc pod uwagę współczesne pojmowanie odpowiedzialności producenta za wyrób. Najwięcej korzyści przynosi stosowanie metody LCC jako narzędzia oceny projektów inwestycyjnych, które znajduje zastosowanie zarówno jak dla nowych, tak i modernizacji już istniejących oczyszczalni ścieków.

Tabela 1. Metody oczyszczania ścieków w poszczególnych wariantach

Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
OCZYSZCZANIE MECHANICZNE		
Kraty rzadkie	Kraty rzadkie + kraty gęste	Kraty gęste
Piaskowniki napowietrzany pionowy	Piaskowniki przedmuchiwane poziome	Piaskowniki przedmuchiwane poziome
Dodatkowe oddzielenie piasku i tłuszczu ze ścieków w osadniku wstępnym	Uśredniania i flotacja ścieków do usuwania piasku, produktów ropopochodnych i tłuszczów	Dodatkowe oddzielenie piasku i tłuszczu ze ścieków w osadniku wstępnym
OCZYSZCZANIE BIOLOGICZNE		
Przygotowanie flokulantu		
KOMORY BEZTLENOWE Biologiczna defosfatacja	KOMORY NITRYFIKACYJNE I DENITRYFIKACYJNE	OSADNIKI WTORNE Sedymentacja osadu czynnego
	Powietrze DMUCHAWY	osad nadmiarowy
Osad czynny recykulowany		
Odwadnianie osadu nadmiernego częściowo na prasie taśmowej, a częściowo na poletkach osadowych	Zagęszczanie osadu nadmiernego na taśmowym zagęszczaczu, odwadnianie na prasie taśmowej.	Zagęszczenie osadu nadmiernego grawitacyjne i odwadnianie na prasie taśmowej
DOCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW OCZYSZCZONYCH NA FILTRACH TARCZOWYCH		
DEZYNFEKCYJA ŚCIEKÓW OCZYSZCZONYCH PROMIENIAMI ULTRAFIOLETOWYMI UV		

Tabela 2. Wyniki obliczenia LCC dla poszczególnych wariantów

Nr	Nazwa charakterystyk porównawczych	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
1	K_c , euro	6 793 939	3 417 742	4 481 616
2	K_o , euro	2 908 635	7 596 088	4 219 393
3	$K_c + K_o$ - Początkowy koszt inwestycji	9 702 574	11 013 830	8 701 009
4	T_c , lata T_o , lata	50 10	50 30	50 10
5	Konsumowana energia elektryczna, kWh. godzina	217	190	285
6	C_e , euro/rok	153 129	105 850	201 115
7	Ilość personelu, os	40	23	48
8	C_w , euro/rok	201 740	115 624	241 303
9	C_n , euro/rok	497 854	455 725	281 292
10	C_p , euro/rok	26 080	30 191	31 353
11	Θ , euro/rok	1 483 951	929 454	1 393 631
12	LCC, euro	514 552 692	297 988 467	507 036 509
13	Koszty jednostkowe zużycia reagentów, euro/m ³	1,77	2,05	10,74
14	Koszty jednostkowe zużycia energii elektrycznej, m ³ /kWh	0,65	0,57	0,85
15	Koszt oczyszczenia 1m ³ ścieków, euro/m ³	0,51	0,32	0,48

W przedstawionym przykładzie kluczowymi czynnikami wpływającymi na ostateczną wielkość kosztów LCC były koszty poniesione na etapie eksploatacji. Z wyników obliczenia LCC urzędów oczyszczających wynika, że początkowa wartość inwestycji wg wariantu 2 jest najwyższa, a koszt cyklu życia najmniejszy, stąd wariant ten powinien być wybrany do realizacji.

LITERATURA

1. Broniewicz E., Miłaszewski R., Godlewska J. 2009. *Ekonomika i zarządzanie ochroną środowiska dla inżynierów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok.
2. Fang L.L., Valverde-Pérez B., Damgaard A., Plósz B.G., Rygaard M., 2015. Life cycle assessment as development and decision support tool for wastewater resource recovery technology., *Water Research*, 10.016.
3. ISO 14040:2006. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
4. Kłoss-Trębaczewicz H., Osuch-Pajdzińska E. (red.) 2004. *Analiza kosztów świadczenia usług wodociągowo-kanalizacyjnych*. Polskie Zrzesze-

nie Inżynierów i Techników Sanitarnych – Zarząd Główny, Warszawa.

5. Kryteria zielonych zamówień publicznych dotyczące infrastruktury ściekowej, 2014. Unia Europejska, doi: 10.2776/20992, http://ec.europa.eu/regional_policy/index_en.cfm
6. Ligus M., 2009. Efektywność inwestycji w odnawialne źródła energii – analiza kosztów i korzyści. CeDeWu Centrum Doradztwa i Wydawnictw.
7. Ławińska O. 2014. Ocena efektywności inwestycji współfinansowanych funduszami Unii Europejskiej na przykładzie budowy oczyszczalni ścieków i kanalizacji sanitarnej w gminie Kłomnice w latach 2009-2012. *Problemy Rozwoju Regionalnego i Lokalnego*, nr 331.
8. PN-EN 60300-3-3. 2006. Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Szacowanie kosztu cyklu życia, PKN listopad, s. 11.
9. U.S. EPA, 2014. Environmental and Cost Life Cycle Assessment of disinfection options for municipal wastewater treatment. Presorted standard postage & fees paid EPA permit no. G-35EPA 600/R-14/377, October, www.epa.gov/research
10. Yoshida H., Clavreul J., Scheutz C., Christensen T.H. 2014. Influence of data collection schemes on the Life Cycle Assessment of a municipal wastewater treatment plant. *Water Research*, 56.