

Małgorzata DESKA, Mariusz KRUCZEK, Paweł ZAWARTKA
Główny Instytut Górnictwa, Katowice
Zakład Ochrony Wód
mdeska@gig.eu, mkruczek@gig.eu, pzawartka@gig.eu

Dorota BURCHART-KOROL
Politechnika Śląska
Wydział Transportu
dorota.burchart-korol@polsl.pl

ZASTOSOWANIE METODY LCA DO WSPOMAGANIA DECYZJI ŚRODOWISKOWYCH W GOSPODARCE WODNO-ŚCIEKOWEJ

Streszczenie. W artykule poruszono istotne problemy związane z oceną środowiskową w procesach decyzyjnych związanych z gospodarką ściekową. Omówiono główne determinanty kształtujące proces zarządzania gospodarką ściekową i wskazano na konieczność przeprowadzania oceny środowiskowej elementów systemu zbierania, transportu i oczyszczania ścieków dla poprawy efektywności kształtowania i eksploatacji całego systemu. Zaprezentowano możliwości zastosowania oceny cyklu życia (LCA – Life Cycle Assessment) w ocenie środowiskowej systemów gospodarki ściekowej i procesach podejmowania decyzji o ich kształtowaniu.

Słowa kluczowe: gospodarka wodno-ściekowa, ocena oddziaływania na środowisko, ocena cyklu życia (LCA)

APPLICATION OF THE LCA METHOD FOR ENVIRONMENTAL DECISION ASSISTANCE IN THE WATER-SEWAGE SYSTEM

Abstract. The article presents the significant problems related to environmental assessment in decision-making processes related to wastewater management. The main determinants shaping the process of wastewater management were discussed and the need to conduct environmental assessment of elements of the collection, transport and sewage treatment system to improve the efficiency of shaping and operation of the entire system was discussed. The possibilities of using life cycle assessment (LCA – Life Cycle Assessment) in the environmental assessment of wastewater management systems and decision making processes on their shaping is also presented.

Keywords: water and wastewater management, environmental impact assessment, life cycle assessment (LCA)

1. Wprowadzenie

Zmiany klimatu i wywoływane tym skutki, a także wyczerpywanie się zasobów naturalnych prowadzą do rosnącego zainteresowania stanem środowiska, a także działaniami na rzecz jego poprawy. W literaturze^{1,2} podkreśla się, że suma korzystnych zmian w skali: krajowej, regionalnej czy też lokalnej może dać wystarczający impuls do pozytywnych zmian globalnych stanu środowiska. Dlatego też istotne jest ustalenie priorytetów i działań, które mają być podejmowane dla poprawy stanu środowiska i ich odpowiednie programowanie. Podejmowane działania w obszarze ochrony środowiska powinny być zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju, który rozumiany jest jako „...zaspokojenie potrzeb dnia dzisiejszego w sposób, który nie ogranicza przyszłym pokoleniom możliwości zaspokojenia ich potrzeb”³. Idea zrównoważonego rozwoju znajduje swoje odzwierciedlenie w polityce ekologicznej Polski i stanowi kluczowy element w kształtowaniu i realizacji norm ochrony środowiska⁴. Cele i zasady polityki wspólnotowej⁵ w pełnym zakresie odnoszą się do jednego z kluczowych sektorów ochrony środowiska jakim jest gospodarka ściekowa na poziomie gospodarstwa domowego, przedsiębiorstwa, samorządu lokalnego, regionalnego czy też całego kraju⁶. W przypadku gospodarki ściekowej występują również odniesienia do zlewni rzecznej, czyli do poziomu tzw. gospodarki zlewniowej⁷. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie możliwości wykorzystania metody oceny cyklu życia we wspomaganiu decyzji środowiskowych w gospodarce wodno-ściekowej, co znajduje bezpośrednie przełożenie na realizację postulatów strategii środowiskowych i wpływa na efektywność gospodarowania zasobami.

¹ Estapé-Dubreuil G., Ashta A., Hédou J.P.: Micro-equity for sustainable development: Selection, monitoring and exit strategies of micro-angels. “Ecological Economics”, Vol. 130, 2016, p. 117-129.

² Thatcher A., Yeow P.H.P.: Human factors for a sustainable future. “Applied Ergonomics”, Vol. 57, 2016, p. 1-7.

³ Harlem-Brundtland G.: Raport pt. Our Common Future, World Commission on Environment and Development, <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>, 1987, 27.09.2017.

⁴ Klima S.: Zarządzanie ochroną środowiska w Unii Europejskiej. Prace Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania i Bankowości, Kraków 1999.

⁵ Ribbe L.: Opinia Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego w sprawie wniosku dotyczącego decyzji Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie ogólnego unijnego programu działań w zakresie środowiska do 2020 r. „Dobrze żyć w granicach naszej planety”, COM(2012) 710 final – 2012/0337 (COD), Bruksela 20.03.2013.

⁶ Sato T., Qadir M., Yamamoto S., Endo T., Zahoora A.: Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. “Agricultural Water Management”, Vol. 130, 2013, p. 1-13.

⁷ Zawartka P., Pilch A.: Rozlewanie się miast jako zagrożenie dla gospodarki zlewniowej i usług publicznych oraz sposoby przeciwdziałania temu zjawisku, [w:] Trząski L. (red.): Przestrzenny i środowiskowy wymiar zrównoważonego rozwoju terenów zurbanizowanych. Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 2016.

2. Wytyczne kształtujące system zarządzania gospodarką ściekową

Z punktu widzenia wdrażania zasad zrównoważonego rozwoju istotne jest tworzenie stabilnych systemów odbioru i oczyszczania ścieków, którymi zarządzanie umożliwić będzie przyjazne ich funkcjonowanie dla społeczeństwa, środowiska i gospodarki⁸. Zagadnienia skutecznego odbioru, odprowadzania i oczyszczania ścieków są ciągle aktualnym wyzwaniem, które wpływa przede wszystkim na realizację zasad ochrony środowiska gruntowo-wodnego. Kwestie te nabierają szczególnego znaczenia na terenach podlegających urbanizacji i terenach wiejskich, gdzie gospodarka ściekowa wymaga zintensyfikowanych działań inwestycyjnych i regulacyjnych, które docelowo powinny ograniczać negatywny wpływ na środowisko⁹. Osiągnięcie wysokiej sprawności i efektywności w obszarze gospodarki wodno-ściekowej utrudnia mnogość i różnorodność rozwiązań technologicznych w układach scentralizowanym oraz zdecentralizowanym¹⁰. Wybór optymalnego rozwiązania zdeteminowany jest przez wiele czynników tworzących sztywne ramy, które ma spełniać, tj. minimalny koszt budowy, minimalna wysokość taryf opłat za ścieki, dostosowanie do przepisów ochrony środowiska czy też poprawa jakości życia użytkowników¹¹. Wybór sposobu organizacji i zarządzania gospodarką ściekową uwzględniający ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko jest rzadko spotykany. Dużo częściej jest to wynik specyficznych uwarunkowań lokalnych i wymogów organów ochrony środowiska lub wynik konsultacji społecznych¹². Uwarunkowania kształtujące gospodarkę ściekową są złożone, a kosztochłonny i długotrwały proces wdrażania systemów gospodarki ściekowej powinien być poprzedzony wnikliwą analizą w kierunku wyboru rozwiązania optymalnego¹³. Do elementów determinujących gospodarkę ściekową należą uwarunkowania prawno-administracyjne, ekonomiczne oraz środowiskowe.

Najważniejszym aktem prawnym regulującym działania w gospodarce ściekowej jest Dyrektywa Rady z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych 91/271/EWG (tzw. dyrektywa ściekowa), której celem jest ochrona środowiska przed niekorzystnymi skutkami odprowadzania ścieków komunalnych, nakładająca obowiązek

⁸ Bondaruk J.: Zrównoważony rozwój w teorii i praktyce. Monografia AZR. Praca zbiorowa. Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych Głównego Instytutu Górniczego, Katowice 2012.

⁹ Wiśniewska-Kindzajan B.: Household sewage-treatment plants as a way to solve the problems of wastewater management in rural areas. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego, s. Administracja i Zarządzanie, nr 98, Siedlce 2013, s. 247-257.

¹⁰ Libralato G., Ghirardini A.V., Avezzù F.: To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. "Journal of Environmental Management", Vol. 94, Iss. 1, 2012, p. 61-68.

¹¹ Wareżak T.: Ekonomiczne aspekty realizacji gospodarki wodno-ściekowej w JST. „Wodociągi-Kanalizacja”, nr 5, 2015, s. 56-60.

¹² Zawartka P., Pilch A.: op.cit.

¹³ Libralato G., Ghirardini A.V., Avezzù F.: op.cit.

wyposażenia aglomeracji¹⁴ w zbiorcze systemy zbierania i oczyszczania ścieków komunalnych¹⁵. W praktyce wiąże się to również z przebudową istniejących systemów oczyszczania ścieków i przeróbką osadów ściekowych. Głównym instrumentem wdrożenia postanowień dyrektywy ściekowej jest Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych¹⁶ aktualizowany co najmniej co cztery lata. W programie formułowane są założenia dotyczące między innymi liczby i długości koniecznych do wybudowania i zmodernizowania oczyszczalni ścieków oraz sieci kanalizacyjnych i związanej z nimi liczby obsługiwanych mieszkańców¹⁷. W programie wskazuje się efektywność kosztową systemów kanalizacyjnych oraz skutki środowiskowe w postaci redukcji zanieczyszczeń wprowadzanych do środowisko. Brak jest jednak oceny efektywności środowiskowej bilansującej koszty środowiskowe, jakie zostaną poniesione na uzyskanie zaplanowanych korzyści.

Prawnie uregulowano również kwestie odbioru i oczyszczania ścieków, zlecając to zadanie przedsiębiorstwom wodociągowo-kanalizacyjnym, które działają na podstawie Ustawy z 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków¹⁸. W Ustawie tej wymienia się substancje, których nie wolno wprowadzać do kanalizacji, a także nakłada się obowiązek regularnej kontroli ilości i jakości odprowadzanych ścieków przez przedsiębiorstwa wodno-kanalizacyjne. Dodatkowo zakazuje się rozcieńczania ścieków przemysłowych wodą w celu uzyskania dopuszczalnych wartości wskaźników zanieczyszczeń oraz wskazuje warunki, jakie muszą zostać spełnione przed wprowadzeniem ścieków przemysłowych do urządzeń kanalizacyjnych¹⁹. Parametry odprowadzanych ścieków muszą odpowiadać warunkom udzielonych pozwoleń wodnoprawnych (jeśli są wymagane) i być podatne na mechaniczno-biologiczne procesy oczyszczania. W drodze odrębnego rozporządzenia określono dopuszczalne masy substancji, które mogą być odprowadzane w ściekach przemysłowych²⁰. Przepisy podają między innymi najwyższe dopuszczalne

¹⁴ Aglomeracja rozumiana jest w Dyrektywie jako obszar, gdzie zaludnienie i/lub działalność gospodarcza są wystarczająco skoncentrowane, aby ścieki komunalne były zbierane i przekazywane do oczyszczalni ścieków komunalnych lub do końcowego punktu zrzutu.

¹⁵ Dyrektywa Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych, <http://eur-lex.europa.eu>, 28.09.2017.

¹⁶ Ministerstwo Środowiska: Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Warszawa, grudzień 2003.

¹⁷ Masłowska-Bandos M.: Aktualizacja KPOŚK. „Wodociągi i Kanalizacja”, nr 4(74), 2010, s. 6-10.

¹⁸ Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków, DzU. 2015, poz. 139, <http://isap.sejm.gov.pl>, 17.09.2017.

¹⁹ Rozporządzenie Ministra Budownictwa z dnia 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych, DzU. 136, poz. 964, <http://isap.sejm.gov.pl>, 16.09.2017.

²⁰ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 lipca 2004 r. w sprawie dopuszczalnych mas substancji, które mogą być odprowadzane w ściekach przemysłowych, DzU. Nr 180, poz. 1867, <http://isap.sejm.gov.pl>, 17.09.2017.

wartością wskaźników zanieczyszczeń lub minimalne procenty redukcji zanieczyszczeń dla oczyszczonych ścieków bytowych i komunalnych wprowadzanych do wód i ziemi²¹.

Poziom rozwoju systemów gospodarki ściekowej w Polsce jest zróżnicowany, mimo że istnieje obowiązek zapewnienia efektywnych procesów odprowadzania i oczyszczania ścieków²². Zasadnicze trudności występują w organizacji procesu zbierania i transportu ścieków oraz w wykorzystywaniu oczyszczonych ścieków do celów gospodarczo-bytowych²³. Zasięg sieci kanalizacyjnych jest ściśle związany z terminem „aglomeracji” i obszarem, jaki ona obejmuje. Wyznaczenie takiego obszaru odbywa się na podstawie przepisów rozporządzenia²⁴. Istotne znaczenie w procesie wyznaczania aglomeracji i tym samym zasięgu systemu zbierania ścieków komunalnych mają uwarunkowania lokalne^{25,26,27}, do których można zaliczyć:

- charakter zabudowy (np. zurbanizowana, o zabudowie skupionej wzdłuż ciągów komunikacyjnych, o rozproszonej lub niejednorodnej zabudowie),
- ukształtowanie powierzchni (topografia),
- sposób użytkowania (przemysł, mieszkalnictwo, wielkopowierzchniowe obiekty),
- postępujące zmiany w zagospodarowaniu przestrzennym,
- procesy demograficzne,
- obecność zakładów przemysłowych,
- ruch turystyczny (w tym jednodniowy i wielodniowy).

Uwarunkowania prawne powodują, że pomimo ustalonych kryteriów, wyznaczenie zasięgu zbiorczego systemu ściekowego w sposób uzasadniony technicznie i ekonomicznie nie zawsze jest najkorzystniejsze dla środowiska.

Gospodarka wodno-ściekowa od kilkunastu lat w Polsce jest sektorem pochłaniającym znaczące środki finansowe. Uwzględnienie ekonomicznych uwarunkowań dla systemów gospodarki ściekowej oznacza przede wszystkim przeprowadzenie oceny efektywności ekonomiczno-finansowej przedsięwzięć i ustalenie stosunku osiągniętych rezultatów do

²¹ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, DzU. 2014, poz. 1800, <http://isap.sejm.gov.pl>, 22.09.2017.

²² Dyrektywa Rady 91/271/EWG, op. cit.

²³ Józwiakowski K., Pieńko A., Dyczko A., Imbierowicz M., Flakowska P., Bondyra P., Steszuk A.: Zmiany stanu gospodarki wodno-ściekowej w Polsce w latach 1990-2012. „Technologia Wody”, nr 6(44), 2015, s. 61-67.

²⁴ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 lipca 2014 r. w sprawie sposobu wyznaczania obszaru i granic aglomeracji, DzU. 2014, poz. 995, <http://isap.sejm.gov.pl>, 20.09.2016. Wskaźnik koncentracji określany jest jako stosunek przewidywanej do obsługi, przez planowaną do budowy sieć kanalizacyjną, liczby mieszkańców aglomeracji do długości tej sieci, doprowadzającej ścieki do oczyszczalni ścieków albo do końcowego punktu zrzutu ścieków komunalnych.

²⁵ Daigger G.T.: Wastewater Management in the 21st Century. “Journal of Environmental Engineering”, Vol. 133, Iss. 7, 2007, p. 671-680.

²⁶ Bdour A.N., Hamdi M.R., Tarawneh Z.: Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region. “Desalination”, Vol. 237, Iss. 1-3, February 2009, p. 162-174.

²⁷ Wells E.C., Zarger R.K., Whiteford L.M., Mihelcic J.R., Koenig E.S., Cairns M.R.: The impacts of tourism development on perceptions and practices of sustainable wastewater management on the Placencia Peninsula, Belize. “Journal of Cleaner Production”, Vol. 111, Part B, 2016, p. 430-441.

zaangażowanych nakładów w realizację infrastruktury²⁸. Aby w sposób kompleksowy uwzględnić czynniki ekonomiczne wpływające na systemy gospodarki ściekowej konieczne jest zastosowanie wielu metod oceny efektywności inwestycji i funkcjonowania tych systemów. Niemniej jednak metody te nie są skuteczne w sytuacji konieczności wyceny korzyści środowiskowych, gdyż najczęściej nie uwzględniają czynników środowiskowych lub uwzględniają je w niewielkim stopniu²⁹. Do oceny efektywności inwestycji infrastrukturalnych stosuje się inne niż typowa analiza przychodów i kosztów metody szacowania, takie jak: analiza kosztów i korzyści (CBA – Cost-Benefit Analysis)³⁰, analiza efektywności kosztowej (CEA – Cost Effectiveness Analysis)³¹, roczny koszt jednostkowy³² oraz analizę wielokryterialną (MCA – Multiple Criteria Analysis)³³. Natomiast brak jest wskazówek dotyczących wykorzystania metod oceny aspektów środowiskowych w gospodarce wodno-ściekowej.

3. Ocena oddziaływania gospodarki wodno-ściekowej na środowisko

Poszukiwanie uniwersalnego sposobu kompleksowej oceny wpływu działalności człowieka na środowisko i w efekcie eliminowanie działań zdecydowanie niekorzystnych wynika z ograniczonej asymilacji zanieczyszczeń przez przyrodę. Sposób postępowania, w którym zakładano jedynie dążenie do niższej koncentracji substancji niepożądanych, a nie eliminowania ich powstawania, nie jest wystarczająco efektywny, zwłaszcza w sytuacji przyrostu ilości emitowanych zanieczyszczeń³⁴. Dotychczasowe podejście do oceny systemów gospodarki ściekowej, pomimo zaleceń do zrównoważenia czynników technicznych, ekonomicznych i środowiskowych, skupiają się przede wszystkim na ocenie kosztowej – rekomendowane są te rozwiązania, które są tańsze, głównie na etapie budowy³⁵. W polskim prawodawstwie ocena skutków środowiskowych jednoznacznie zapisana

²⁸ Zawartka P., Zdebek D., Bondaruk J.: System gospodarki ściekowej w gminie – aglomeracja i obszar poza aglomeracją. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne w warunkach zagrożeń naturalnych i cywilizacyjnych. Materiały konferencyjne. Szczyrk 2013.

²⁹ Hurynovich A.: Metoda oceny efektywności projektów inwestycyjnych oczyszczalni ścieków w oparciu o analizę LCC. „Inżynieria Ekologiczna”, nr 48, 2016, s. 69-73.

³⁰ Linn M.: Cost-benefit analysis: examples. “The Bottom Line”, Vol. 24, Iss. 1, 2011, p. 68-72.

³¹ González-Viar M., Montero R.D., Molinos M., Monzón I.T.: Cost-effectiveness analysis of sewer mining versus centralized wastewater treatment: Case study of the Arga river basin, Spain. “Urban Water Journal”, Vol. 13, Iss. 3, 2016, p. 321-330.

³² Bartczak A., Giergiczny M., Rączka J.: Możliwości wykorzystania analizy efektywności kosztowej we wdrażaniu konwencji sztokholmskiej. Seminarium „Priorytety krajowego programu wdrażania Konwencji Sztokholmskiej”. Warszawa 26.05.2003.

³³ Bondaruk J.: Poprawa skuteczności usuwania ładunków zanieczyszczeń w zurbanizowanej zlewni wód z wykorzystaniem analizy wielokryterialnej. Praca doktorska, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2013.

³⁴ Czaplicka-Kolarz K., Burchart-Korol D., Turek M., Borkowski W.: Model of eco-efficiency assessment of mining production processes. “Archives of Mining Sciences”, Vol. 60, No. 2, 2015, p. 477-486.

³⁵ Lewicka A., Widomski M.K., Lagód G.: Economic analyses in sewage system designing for rural settlement – case study. “Architecture Civil Engineering Environment”, Vol. 2, 2016, p. 146-151.

w przepisach, zaleceniach oraz dobrej praktyce przeprowadzania procedury oceny oddziaływania na środowisko – Ocena oddziaływania na środowisko OOS (Environmental Impact Assessment) – jest aktualnie podstawowym narzędziem zarządzania środowiskiem. Należy ona do grupy instrumentów prawnych, mających za zadanie ochronę środowiska przed negatywnymi skutkami rozwoju gospodarczego. OOS definiowana jako proces lub postępowanie, w ramach którego badany jest wpływ planowanego przedsięwzięcia albo projektowanego dokumentu strategicznego na środowisko³⁶. W sensie administracyjnym ocena oddziaływania na środowisko to procedura prowadzona przed podjęciem realizacji przedsięwzięcia mająca na celu rozważenie środowiskowych skutków tego przedsięwzięcia. Ocenie podlegają wszystkie planowane przedsięwzięcia, mogące zawsze znacząco oddziaływać na środowisko (grupa I) oraz planowane przedsięwzięcia, mogące znacząco potencjalnie oddziaływać na środowisko, w stosunku do których właściwy organ stwierdził potrzebę takiej oceny (grupa II)³⁷. Istnieje również odrębna procedura, pod nazwą strategiczna ocena oddziaływania na środowisko (SOOS), przeprowadzana dla planów lub programów, której częścią jest prognoza oddziaływania na środowisko³⁸. Problematyka oceny oddziaływania na środowisko obejmuje między innymi kwestie związane z istnieniem obiektów technicznych realizujących funkcje gospodarcze i społeczne. Przy analizie oddziaływania na środowisko dla takich obiektów konieczne jest podejście systemowe, które całościowo rozpatruje potencjalne oddziaływania i ich charakter³⁹, natomiast ramy określania oddziaływań środowiskowych obejmują: sfery istnienia maszyn i urządzeń, elementy środowiska oraz występowanie oddziaływań bezpośrednich i pośrednich. Oceny te jakkolwiek kompleksowe obrazują jakościowe wpływy oddziaływania przedsięwzięć na środowisko, które są trudniejsze do interpretacji i utrudniają jakiegokolwiek porównania różnych wariantów. Mimo, że w ostatnich latach w znaczny sposób przeorganizowano strukturę zarządzania ochroną środowiska w Polsce, to jest ona nadal niewystarczająco efektywna z punktu widzenia zrównoważonej gospodarki wodno-ściekowej.

W Unii Europejskiej wartości ekologiczne stawiane są na równi z wartościami ekonomicznymi, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju. Ogólne uwarunkowania środowiskowe prowadzenia zrównoważonej gospodarki wodno-ściekowej dotyczą zachowania odpowiedniej jakości zasobów wodnych oraz ochrony ekosystemów wodnych. Jednostki samorządowe oraz przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne ponosząc odpowiedzialność za gospodarkę ściekową, są zatem swoistym regulatorem stanu środowiska na poziomie lokalnym. Regulację tę należy rozumieć jako każdą zmianę w środowisku,

³⁶ Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (DzU. 2016, poz. 353 z późn. zm.).

³⁷ Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (DzU. 2013, poz. 817 z późn. zm.).

³⁸ Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku [...].

³⁹ Kłos Z., Kurczewski P., Kasprzak J.: Środowiskowe charakteryzowanie maszyn i urządzeń. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.

zarówno niekorzystną, jak i korzystną, która w całości lub częściowo jest spowodowana określoną działalnością. Wpływ na środowisko związany z funkcjonowaniem przedsiębiorstw wodno-kanalizacyjnych można dzielić na bezpośredni i pośredni⁴⁰.

Wpływ bezpośredni jest pochodną prowadzonej działalności danego przedsiębiorstwa i może obejmować:

- uwalnianie zanieczyszczeń do wód,
- emisje do powietrza,
- zapobieganie powstawaniu, recykling, ponowne użycie, transport i usuwanie odpadów stałych i innych, w szczególności odpadów niebezpiecznych,
- korzystanie z gruntów i ich zanieczyszczanie,
- korzystanie z zasobów naturalnych i surowców (w tym paliw i energii),
- problemy lokalne (hałas, wibracje, odory, pył, efekt wizualny, pola elektromagnetyczne itp.),
- wpływ na bioróżnorodność,
- zagadnienia związane z transportem (towarów, usług i pracowników).

Wpływ pośredni to taki, który może powstać w związku z działaniami, wyrobami i usługami przedsiębiorstwa i mogący pozostawać poza pełną kontrolą. Obejmuje on:

- zagadnienia dotyczące wyrobów (projekt, rozwój, opakowanie, transport, wykorzystanie oraz odzysk/usuwanie odpadów),
- strukturę usług oraz nowe rynki zbytu,
- decyzje administracyjne i planistyczne,
- efekty działalności środowiskowej oraz praktyki środowiskowe wykonawców, podwykonawców i dostawców.

W przypadku wymienionych pośrednich wpływów na środowisko przedsiębiorstwa wodno-kanalizacyjne rozważają, jak duży wpływ mogą mieć na te zagadnienia oraz jakie środki mogą podjąć w celu ich ograniczenia. Przedstawione spektrum problemów związanych z wpływem gospodarki wodno-ściekowej na środowisko powoduje, że istnieje konieczność poszukiwania ilościowych metod opisujących oddziaływanie na środowisko, które przede wszystkim umożliwią oszacowanie potencjalnych z zastosowania różnych rozwiązań i w kalkulacjach uwzględnią możliwości ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko gospodarki ściekowej.

⁴⁰ Tchobanoglous G., Stensel H.D., Tsuchihashi R., Burton F., Abu-Orf M., Bowden G., Pfrang W.: Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery 5th Edition, Metcalf and Eddy I AECOM, McGraw-Hill Education, New York 2014.

4. Znaczenie LCA w analizie ekoefektywności

Pojawienie się zapotrzebowania na rozwiązanie, które pomogłoby w odpowiedzialny i kompleksowy sposób zbadać wszystkie aspekty działalności wpływające na środowisko naturalne, związane z realizacją przedsięwzięć i ich eksploatacją prowadzi do pojęcia ekoefektywności. Ekoefektywność pierwotnie była definiowana przez Światową Radę Biznesu na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju (WBCSD) jako dostarczanie wyrobów i usług w konkurencyjnej cenie, które spełniają potrzeby człowieka i podnoszą jego jakość życia, przy równoczesnym ograniczeniu negatywnego wpływu na środowisko i zużycia zasobów naturalnych w całym cyklu życia. WBCSD określiła również podstawowe cele ekoefektywności, w szczególności osiąganie wzrostu efektywności ekonomicznej produkcji, przy równoczesnym ograniczaniu jej szkodliwego wpływu na środowisko^{41,42}. Idea ekoefektywności zakłada ocenę wpływu na środowisko w całym cyklu życia i dostarcza narzędzi dla ograniczenia negatywnych oddziaływań. Uszczegółowiona definicja ekoefektywności pojawia się w normie PN-EN ISO 14045:2012⁴³, według której wskaźnik ekoefektywności stanowi miarę odnoszącą wydajność środowiskową systemu wyrobu do wartości systemu wyrobu. Zgodnie z normą ocena wydajności środowiskowej na potrzeby analiz ekoefektywności powinna być określana z zastosowaniem metody oceny cyklu życia LCA (Life Cycle Assessment), zgodnie z normami PN-EN ISO 14040:2009 oraz PN-EN ISO 14044:2009.

Ocena cyklu życia LCA służy do analizy aspektów środowiskowych w cyklu życia technologii oraz produktów, uwzględniając etapy budowy, eksploatacji i likwidacji. Metoda ta służy do analiz porównawczych różnych wariantów technologicznych czy scenariuszy, dzięki czemu może być wykorzystana jako narzędzie do wyboru technologii czy produktu o najniższym wpływie na środowisko. Może być stosowana także w procesie wspomaganie decyzji. LCA umożliwia powiązanie różnych zużytych surowców, materiałów, energii oraz oddziaływań (emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych, ścieków, odpadów) z efektami środowiskowymi rozumianymi jako kategorie wpływu na środowisko lub z kategoriami szkód dla zdrowia człowieka, ekosystemu lub zużycia zasobów naturalnych. Ocena cyklu życia powinna uwzględniać cztery fazy: określenie celu i zakresu analizy, analizę zbioru wejść i wyjść LCI (Life Cycle Inventory), ocenę wpływu w cyklu życia LCIA (Life Cycle Impact Assessment) oraz interpretację wyników. Zdefiniowanie celu analizy polega na określeniu zamierzonego zastosowania wyników analizy, przyczyn prowadzenia badań oraz odbiorcy

⁴¹ Czaplicka-Kolarz K., Ściążko M.: Model ekologicznego i ekonomicznego prognozowania wydobywania i użytkowania czystego węgla, tom 2, Ekoefektywność technologii czystego spalania węgla. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2004.

⁴² Kleiber M. (red.): Ekoefektywność technologii. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego, Radom 2011.

⁴³ PN-EN ISO 14045:2012 Zarządzanie środowiskowe – Ocena ekoefektywności systemów wyrobów – Zasady, wymagania i wytyczne.

badan. Na tej podstawie określa się sposób analizy. Pierwsza faza analizy LCA obejmuje istotne prace związane z opracowaniem założeń do niej, w tym określeniu granic analizowanego systemu, procesów jednostkowych, funkcji systemu oraz jednostki funkcjonalnej. Proces jednostkowy jest najmniejszym elementem systemu, dla którego są określane wejścia i wyjścia. Jednostka funkcjonalna jest ilościowym efektem systemu, stosowanym jako jednostka odniesienia. Granica systemu określa, które procesy jednostkowe, jak również które wejścia i wyjścia będą uwzględniane w ocenie cyklu życia. Druga faza analizy LCA – analiza zbioru wejść i wyjść (LCI) – obejmuje identyfikację oraz inwentaryzację danych dla wszystkich elementów wejść, wyjść, które potencjalnie przyczyniają się do oddziaływań na środowisko w ocenianej granicy systemu. Zbieranie danych powinno obejmować cały cykl życia, czyli od pozyskania surowca, przez jego przetwarzanie, uzyskanie produktu finalnego aż do zagospodarowania odpadu. Jednak w zależności od celu LCA, jej zakres jest ograniczony do wybranych etapów w cyklu życia. Trzecia faza analizy LCA obejmuje ocenę obciążeń środowiskowych z zastosowaniem wybranych metod oceny wpływu.

Odnosnie do wartości systemu wyrobu w normie PN-EN ISO 14045:2012 nie ma zaleceń dotyczących zastosowania metody oceny. Wartość systemu w analizie efektywności obejmować może różne aspekty, np. funkcjonalne, monetarne, estetyczne i inne. Wartość systemu wyrobu może być tak określona, aby odzwierciedlić jego zasoby, wielkość produkcji, efektywność dostawy lub wykorzystania bądź połączenie tych elementów. Efektywność powinna uwzględniać następujące kryteria⁴⁴:

- redukcję zużycia zasobów (minimalne zużycie materiałów i energii, maksymalizację zużycia zasobów odnawialnych),
- ograniczenia presji na środowisko (toksyczność, stopień recyklingu, trwałość produktu),
- ekonomiczne – wzrostu wartości produktu lub usługi.

Przedstawione kryteria wskazują, że efektywność integruje aspekty środowiskowe z wynikami analiz ekonomicznych, co daje możliwość porównywania różnych rozwiązań, przy równoczesnym uwzględnieniu czynników ekonomicznych i środowiskowych. Analiza efektywności pozwala zatem na dokonywanie wyboru takiego rozwiązania, które przynosi największe korzyści przy najniższych kosztach (efektywność ekonomiczna), jednocześnie przy najmniejszej uciążliwości dla środowiska naturalnego (efektywność środowiskowa)⁴⁵.

⁴⁴ van Berkel R.: Eco-efficiency in the Australian Minerals Processing Sector. "Journal of Cleaner Production", No. 15, 2007, p. 772-781.

⁴⁵ Huppes G., Ishikawa M.: Eco-efficiency and its terminology. "Journal of Industrial Ecology", Vol. 9, No. 4, 2005, p. 43-46.

5. Metoda LCA jako narzędzie wspomaganie decyzji w zarządzaniu środowiskiem w gospodarce wodno-ściekowej

Zastosowanie metody LCA w gospodarce ściekowej jest zagadnieniem nowym, mimo że badania w zakresie analiz LCA prowadzone są od kilkunastu lat. Wykazano również, że rośnie zainteresowanie stosowaniem tej metody. Oczyszczanie ścieków i zagospodarowanie wszystkich produktów ubocznych tego procesu jest istotnym zagadnieniem problemowym w zarządzaniu środowiskiem wymagającym ciągłego doskonalenia technologicznego i zarazem kształtującym zapotrzebowanie na wdrażanie eko-innowacji⁴⁶. W gospodarce wodno-ściekowej aspekty ekonomiczne są rozpoznane i stosuje się dla nich metody oceny efektywności inwestycji infrastrukturalnych, natomiast dla aspektów środowiskowych brak jednoznacznego wskazania, szczególnie w odniesieniu do metody LCA.

Wykorzystanie LCA sankcjonowałoby wybór rozwiązań lepszych ze środowiskowego punktu widzenia. Niemniej jednak dotychczasowe wykorzystanie LCA odnosiło się do wybranych elementów systemów gospodarki ściekowej, gdzie skupiono się na wydzielonym fragmencie, przez co uzyskiwane wyniki badań nie obejmują problemu całościowo. Kompleksowe podejście do problematyki wspomaganie decyzji środowiskowych w gospodarce wodno-ściekowej wymaga tymczasem nowego podejścia w układzie kosztów-korzyści ekonomicznych i środowiskowych⁴⁷, wiąże się to również z transformacją funkcjonującego dotychczas modelu gospodarki wodno-ściekowej, polegającego na „oczyszczaniu na końcu rury”, w kierunku zrównoważonej gospodarki ściekowej zorientowanej na „działanie u źródła” i jest aktualnym wyzwaniem, ze względu na wzrastające wymagania ochrony środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem ochrony klimatu oraz ograniczania zużycia zasobów naturalnych^{48,49}. Jest to szczególnie istotne w sytuacji stosowania coraz bardziej złożonych technologii, instalacji i procesów oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych, które skutkują presją na różne komponenty środowiska. Dlatego wykorzystanie tak czulej metody jaką jest LCA daje lepsze i wymierne wyniki w porównaniu z najczęściej stosowaną metodą oceny oddziaływania przedsięwzięć na środowisko.

Przeprowadzenie oceny wpływu na środowisko systemów gospodarki wodno-ściekowej jest zagadnieniem szczególnie złożonym, ze względu na konieczność uwzględniania specyficznych warunków terenowych, charakteru zabudowy, sposobu użytkowania terenu

⁴⁶ Barbusiński K.: Innowacyjne technologie oczyszczania ścieków komunalnych – kierunki rozwoju. „Napędy i Sterowanie”, nr 1, 2016, s. 40-45.

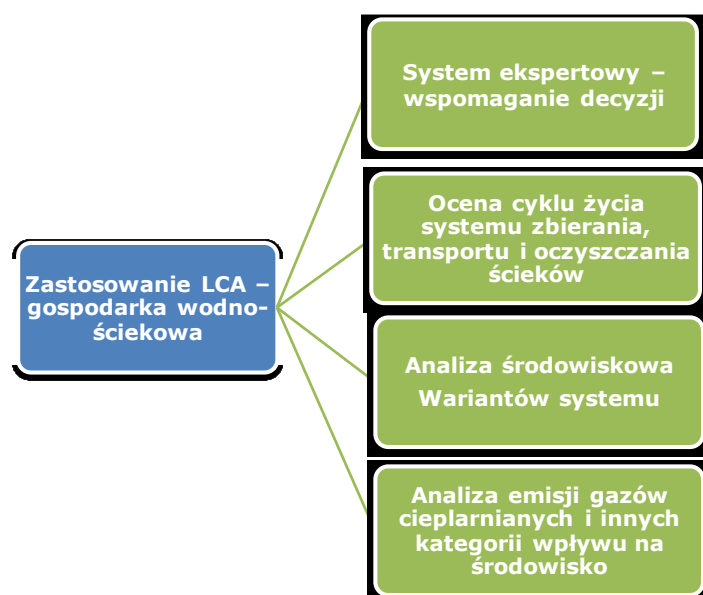
⁴⁷ Cornejo P.K., Zhang Q., Mihelcic J.R.: Quantifying benefits of resource recovery from sanitation provision in a developing world setting. “Journal of Environmental Management”, Vol. 131, No. 15, 2013, p. 7-15.

⁴⁸ Miłaszewski R., Bartoszczyk P.: Gospodarka wodno-ściekowa w strategii przedsiębiorstwa, [w:] Kuciński K. (red.): Strategie przedsiębiorstw wobec wymogów zrównoważonego rozwoju. Seria Wydawnicza Przedsiębiorstwo Współczesne, Kolegium Nauk o Przedsiębiorstwie, Szkoła Główna Handlowa, 2009.

⁴⁹ Meng F., Fu G., Butler D.: Water quality permitting: From end-of-pipe to operational strategies. “Water Research”, Vol. 101, 2016, p. 114-126.

oraz stosowanych technologii⁵⁰. Dlatego w takich warunkach niezbędna jest kompleksowa ocena środowiskowa, która spośród wielu rozwiązań w gospodarce wodno-ściekowej wybierze wariant najmniej wpływający na środowisko. Taką właśnie metodą jest ocena cyklu życia, proponowana w niniejszym artykule, która umożliwia całościową ocenę systemu zbierania, transportu oraz oczyszczania ścieków, w której przedstawiono wyniki analiz LCA dla systemu zbierania, transportu i oczyszczania ścieków, w tym dla cyklu życia zbiorników bezodpływowych, indywidualnych oczyszczalni ścieków, sieci kanalizacyjnej i zbiorczej oczyszczalni ścieków.

Metoda LCA jest odpowiednim narzędziem do wspomaganie decyzji w gospodarce wodno-ściekowej, jednak w tym celu należy przeprowadzić ocenę środowiskową elementów systemu w cyklu życia, uwzględniając etap budowy, eksploatacji i likwidacji. Zastosowanie LCA w gospodarce wodno-ściekowej przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Zastosowanie LCA w gospodarce wodno-ściekowej
Źródło: Opracowanie własne.

Podjęcie oceny cyklu życia jest nowością w obszarze oceny środowiskowej w gospodarce wodno-ściekowej. Metoda LCA jest istotnym narzędziem w ocenie inwestycji infrastrukturalnych w sektorze środowiska, które bardzo wyraźnie akcentuje Komisja Europejska, wprowadzając w 2014 roku zmiany do Dyrektywy 2011/92/UE z dnia 13 grudnia 2011 roku w sprawie oceny skutków wywieranych przez niektóre przedsięwzięcia publiczne i prywatne na środowisko, a także formułując zalecenia wyboru projektów do wsparcia w latach 2014-2020, weryfikowanych przez dokonywanie analizy całego cyklu życia inwestycji. Z wytycznych Komisji wynika, że ocena cyklu życia powinna być jednym z horyzontalnych kryteriów środowiskowych, których zastosowanie ma na celu m.in. wzmocnienie

⁵⁰ Wells E.C., Zarger R.K., Whiteford L.M., Mihelcic J.R., Koenig E.S., Cairns M.R.: op.cit.

horyzontalnej polityki unijnej w celu praktycznego i wymiernego sposobu uwzględnienia zasady zrównoważonego rozwoju. W okresie długoterminowym takie podejście ma służyć ograniczeniu presji na środowisko przez promowanie rozwiązań ograniczających zużycie zasobów i emisje do środowiska, wśród których szczególnie istotne są gazy cieplarniane.

Podsumowanie

Analiza wpływu systemów gospodarki ściekowej na środowisko jest zagadnieniem szczególnie złożonym, ze względu na konieczność uwzględniania specyficznych warunków dotyczących terenu, zabudowy, użytkowania terenu oraz zastosowanych technologii. Rozbudowa infrastruktury transportu i oczyszczania ścieków determinowana jest potrzebą dostosowania gospodarki ściekowej do wymagań prawnych, a głównymi kryteriami oceny planowanych rozwiązań technicznych są kryteria ekonomiczne, co nie zawsze jest wystarczające. Kompleksowa ocena wpływu tych systemów na środowisko powinna dać odpowiedź, które z rozwiązań przewidzianych dla realizacji i eksploatacji systemu ściekowego skuteczniej ogranicza negatywne oddziaływanie na środowisko, a więc powinna być swoistego rodzaju systemem wspomaganie decyzji zarządzających gospodarką ściekową i to na każdym etapie procesu decyzyjnego. Stąd też konieczność stosowania ilościowych metod opisujących oddziaływanie na środowisko, które przede wszystkim umożliwią prowadzenie porównań różnych rozwiązań. Istniejące metody, które można zastosować do oceny wpływu na środowisko sieci kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków oraz rozwiązań indywidualnych. Każda z tych metod ma zalety i wady, które determinują jej rozwój i upowszechnianie, a co najważniejsze decydują o praktycznym zastosowaniu. Mimo ustanowienia metod i wskazania obszarów ich aplikacyjności, większość z nich nie znajduje jednak zastosowania w praktyce. Przedstawiona w artykule ocena środowiskowa LCA, która z powodzeniem jest stosowana w analizach wpływu na środowisko, uznawana jest za kompleksową metodę badawczą oceny środowiskowej, albowiem pozwala na uwzględnienie wpływu na środowisko kolejnych etapów cyklu życia produktu, technologii, wraz z czynnikami pomijalnymi w innych metodach jak: zużycie surowców, materiałów, energii, emisje do środowiska, eutrofizację i wiele innych kategorii wpływu w odniesieniu do całego procesu, który uwzględnia produkcję, budowę, eksploatację i likwidację. Pomimo rozpowszechnienia metody, prace opublikowane dotychczas na temat zastosowania oceny środowiskowej LCA w systemach ściekowych ograniczają się głównie do oczyszczalni ścieków, bez uwzględnienia systemu transportu ścieków. Dostępne w literaturze wyniki analiz środowiskowych przeprowadzonych z wykorzystaniem LCA dotyczą w szczególności porównań pod względem środowiskowym różnych technologii oczyszczania oraz przeróbki i zagospodarowania osadów ściekowych czy też oceny wpływu na środowisko rurociągu

wykonanego z różnego rodzaju materiałów. Konsekwencją stosowania metody LCA do wybranych elementów systemów gospodarki ściekowej są wyniki badań, które stanowią wprawdzie skuteczne narzędzie oceny tych elementów, ale nie obejmują i nie dają możliwości kompleksowej analizy środowiskowej tego systemu. Dalsze badania autorów skupiają się na wypracowaniu kompleksowej oceny w tym zakresie.

Publikacja została opracowana w ramach pracy statutowej, realizowanej w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach, Nr 11110517-340.

Bibliografia

1. Barbusiński K.: Innowacyjne technologie oczyszczania ścieków komunalnych – kierunki rozwoju. „Napędy i Sterowanie”, nr 1, 2016, s. 40-45.
2. Bartczak A., Giergiczny M., Rączka J.: Możliwości wykorzystania analizy efektywności kosztowej we wdrażaniu konwencji sztokholmskiej. Seminarium „Priorytety krajowego programu wdrażania Konwencji Sztokholmskiej”, Warszawa 26.05.2003.
3. Bdour A.N., Hamdi M.R., Tarawneh Z.: Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region. “Desalination”, Vol. 237, Iss. 1-3, February 2009, p. 162-174.
4. van Berkel R.: Eco-efficiency in the Australian Minerals Processing Sector. “Journal of Cleaner Production”, No. 15, 2007, p. 772-781.
5. Bondaruk J.: Poprawa skuteczności usuwania ładunków zanieczyszczeń w zurbanizowanej zlewni wód z wykorzystaniem analizy wielokryterialnej. Praca doktorska, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2013.
6. Bondaruk J.: Zrównoważony rozwój w teorii i praktyce. Monografia AZR. Praca zbiorowa. Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 2012.
7. Cornejo P.K., Zhang Q. Mihelcic J.R.: Quantifying benefits of resource recovery from sanitation provision in a developing world setting. “Journal of Environmental Management”, Vol. 131, No. 15, 2013, p. 7-15.
8. Czaplicka-Kolarz K., Burchart-Korol D., Turek M., Borkowski W.: Model of eco-efficiency assessment of mining production processes. “Archives of Mining Sciences”, Vol. 60, No. 2, 2015, p. 477-486.
9. Czaplicka-Kolarz K., Ściążko M.: Model ekologicznego i ekonomicznego prognozowania wydobycia i użytkowania czystego węgla, tom 2, Ekoefektywność technologii czystego spalania węgla. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2004.

10. Daigger G.T.: Wastewater Management in the 21st Century. "Journal of Environmental Engineering", Vol. 133, Iss. 7, 2007, p. 671-680.
11. Dyrektywa Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych, <http://eur-lex.europa.eu>, 28.09.2017.
12. Estapé-Dubreuil G., Ashta A., Hédou J.P.: Micro-equity for sustainable development: Selection, monitoring and exit strategies of micro-angels. "Ecological Economics", Vol. 130, 2016, p. 117-129.
13. González-Viar M., Montero R.D., Molinos M., Monzón I.T.: Cost-effectiveness analysis of sewer mining versus centralized wastewater treatment: Case study of the Arga river basin, Spain. "Urban Water Journal", Vol. 13, Iss. 3, 2016, p. 321-330.
14. Harlem-Brundtland G.: Raport pt. Our Common Future, World Commission on Environment and Development, 1987, <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>, 27.09.2017.
15. Huppes G., Ishikawa M.: Eco-efficiency and its terminology. "Journal of Industrial Ecology", Vol. 9, No. 4, 2005, p. 43-46.
16. Hurynovich A.: Metoda oceny efektywności projektów inwestycyjnych oczyszczalni ścieków w oparciu o analizę LCC. „Inżynieria Ekologiczna”, nr 48, 2016, p. 69-73.
17. Józwiakowski K., Pieńko A., Dyczko A., Imbierowicz M., Fłakowska P., Bondyra P., Steszuk A.: Zmiany stanu gospodarki wodno-ściekowej w Polsce w latach 1990-2012. „Technologia Wody”, nr 6(44), 2015, s. 61-67.
18. Kleiber M. (red.): Ekoefektywność technologii. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego, Radom 2011.
19. Klima S.: Zarządzanie ochroną środowiska w Unii Europejskiej. Prace Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania i Bankowości, Kraków 1999.
20. Kłós Z., Kurczewski P., Kasprzak J.: Środowiskowe charakteryzowanie maszyn i urządzeń. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.
21. Lewicka A., Widomski M.K., Lagód G.: Economic analyses in sewage system designing for rural settlement – case study. "Architecture Civil Engineering Environment", Vol. 2, 2016, p. 146-151.
22. Libralato G., Ghirardini A.V., Avezzù F.: To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. "Journal of Environmental Management", Vol. 94, Iss. 1, 2012, p. 61-68.
23. Linn M.: Cost-benefit analysis: examples. "The Bottom Line", Vol. 24 Iss. 1, 2011, p. 68-72.
24. Masłowska-Bandosz M.: Aktualizacja KPOŚK. „Wodociągi i Kanalizacja”, nr 4(74), 2010, s. 6-10.
25. Meng F., Fu G., Butler D.: Water quality permitting: From end-of-pipe to operational strategies. "Water Research", Vol. 101, 2016, p. 114-126.

26. Miłaszewski R., Bartoszczuk P.: Gospodarka wodno-ściekowa w strategii przedsiębiorstwa, [w:] Kuciński K. (red.): Strategie przedsiębiorstw wobec wymogów zrównoważonego rozwoju. Seria Wydawnicza Przedsiębiorstwo Współczesne, Kolegium Nauk o Przedsiębiorstwie, Szkoła Główna Handlowa, 2009.
27. Ministerstwo Środowiska: Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Warszawa, grudzień 2003.
28. PN-EN ISO 14045:2012 Zarządzanie środowiskowe – Ocena efektywności systemów wyrobów – Zasady, wymagania i wytyczne.
29. Ribbe L.: Opinia Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego w sprawie wniosku dotyczącego decyzji Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie ogólnego unijnego programu działań w zakresie środowiska do 2020 r. „Dobrze żyć w granicach naszej planety”, COM(2012) 710 final – 2012/0337 (COD), Bruksela 20.03.2013.
30. Rozporządzenie Ministra Budownictwa z dnia 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych, DzU. Nr 136, poz. 964, <http://isap.sejm.gov.pl>, 16.09.2017.
31. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, DzU. 2014, poz. 1800, <http://isap.sejm.gov.pl>, 22.09.2017.
32. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 lipca 2014 r. w sprawie sposobu wyznaczania obszaru i granic aglomeracji, DzU. 2014, poz. 995, <http://isap.sejm.gov.pl>, 20.09.2016.
33. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 lipca 2004 r. w sprawie dopuszczalnych mas substancji, które mogą być odprowadzane w ściekach przemysłowych, DzU. nr 180, poz. 1867, <http://isap.sejm.gov.pl>, 17.09.2017.
34. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko, DzU. 2013, poz. 817 z późn. zm.
35. Sato T., Qadir M., Yamamoto S., Endo T., Zahoor A.: Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. “Agricultural Water Management”, Vol. 130, 2013, p. 1-13.
36. Tchobanoglous G., Stensel H.D., Tsuchihashi R., Burton F., Abu-Orf M., Bowden G., Pfrang W.: Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, Metcalf and Eddy I AECOM. McGraw-Hill Education, New York 2014.
37. Thatcher A., Yeow P.H.P.: Human factors for a sustainable future. “Applied Ergonomics”, Vol. 57, 2016, p. 1-7.
38. Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko, DzU. 2016, poz. 353 z późn. zm.

39. Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków, DzU. 2015, poz. 139, <http://isap.sejm.gov.pl>, 17.09.2017.
40. Warężak T.: Ekonomiczne aspekty realizacji gospodarki wodno-ściekowej w JST. „Wodociągi-Kanalizacja”, nr 5, 2015, s. 56-60.
41. Wells E.C., Zarger R.K., Whiteford L.M., Mihelcic J.R., Koenig E.S., Cairns M.R.: The impacts of tourism development on perceptions and practices of sustainable wastewater management on the Placencia Peninsula, Belize. “Journal of Cleaner Production”, Vol. 111, Part B, 2016, p. 430-441.
42. Wiśniewska-Kindzajan B.: Household sewage-treatment plants as a way to solve the problems of wastewater management in rural areas. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego, s. Administracja i Zarządzanie, nr 98, Siedlce 2013, s. 247-257.
43. Zawartka P., Pilch A.: Rozlewanie się miast jako zagrożenie dla gospodarki zlewniowej i usług publicznych oraz sposoby przeciwdziałania temu zjawisku, [w:] Trząski L. (red.): Przestrzenny i środowiskowy wymiar zrównoważonego rozwoju terenów zurbanizowanych. Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 2016.
44. Zawartka P., Zdebik D., Bondaruk J.: System gospodarki ściekowej w gminie – aglomeracja i obszar poza aglomeracją. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna: Przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne w warunkach zagrożeń naturalnych i cywilizacyjnych. Materiały konferencyjne. Szczyrk 2013.