

**Przegląd zastosowań LCA dla
oczyszczalni ścieków.**

**Review of applications of LCA for wastewater
treatment plant.**

Streszczenie:

Artykuł nawiązuje do aktualnych problemów budowy nowych oczyszczalni ścieków oraz modernizacji istniejących zgodnie z Aktualizacją Krajowego Planu Oczyszczania Ścieków Komunalnych z 2009 roku z uwzględnieniem aspektów ich oddziaływania na środowisko oraz optymalizacji kosztów oczyszczania ścieków. Wskazuje Ocenę Cyklu Życia jako odpowiednie narzędzie wspomagające wybór najlepszego wariantu czy poziomu modernizacji oczyszczalni. Przedstawia charakterystykę metody LCA oraz przykłady zastosowania do oceny technologii oczyszczania ścieków w Polsce i za granicą.

1. Wstęp

Niecałe 10 lat temu Polska implementując dyrektywę UE Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 roku opracowała Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK). Dokument ten dotyczył planów budowy i modernizacji infrastruktury związanej z gospodarką ściekami, miał wyznaczyć harmonogram prac modernizacyjnych i budowlanych na następne lata w celu zniwelowania różnicy między Polską a krajami UE w zakresie gospodarki ściekowej. KPOŚK opracowany w 2003 r. obejmował ponad 1300 aglomeracji, przewidywał zarówno budowę, rozbudowę modernizację oczyszczalni ścieków komunalnych, jak i budowę około 21 tys. km sieci kanalizacyjnej w aglomeracjach. Całościowy koszt inwestycji oszacowana na ok. 35 mld zł, w tym na oczyszczalnie ścieków komunalnych – ok. 11 mld zł. W kolejnych aktualizacjach poziom wymogów były podnoszony, w ramach ostatniej (trzeciej aktualizacji) do 2015 roku ma powstać 177 nowych oczyszczalni ścieków [4].

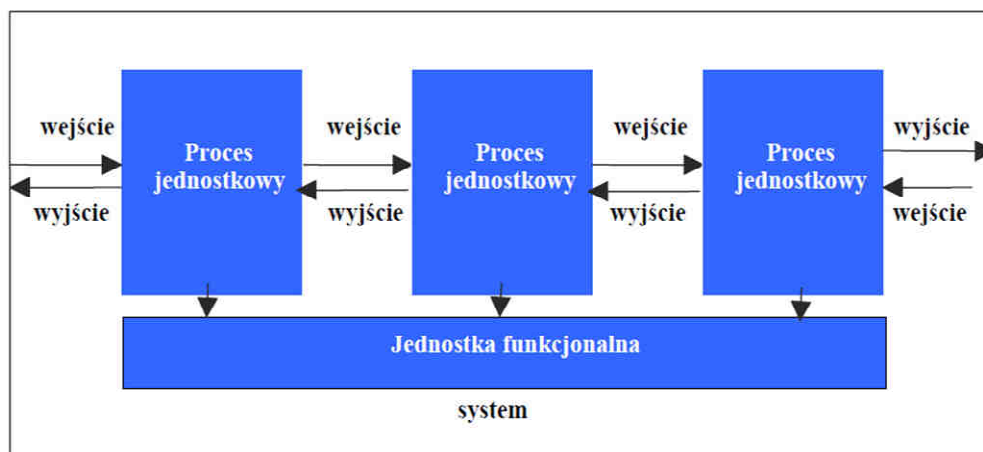
Budowa oczyszczalni i sieci kanalizacyjnej to jeden z aspektów poprawy efektywności gospodarki ściekami, a w konsekwencji stanu wód w Polsce. Ważną rolę odgrywa również modernizacja istniejących instalacji, racjonalizacja rolnictwa oraz zwiększanie świadomości ekologicznej społeczeństwa. Oczyszczalnie ścieków mimo, że służą ochronie środowiska przyrodniczego są specyficznymi obiektami technicznymi, generują duże wpływy środowiskowe, głównie przez zużycie energii elektrycznej (produkcja tlenu), wody do płukania filtrów, reagentów chemicznych. Zajmują także ogromne powierzchnie – (np. osadniki i poletka osadowe), co nie pozostaje bez znaczenia dla zamieszkującej te tereny pierwotnie fauny i flory oraz pobliskich mieszkańców. Oczyszczalnie można traktować jak swoiste fabryki do oczyszczania zużytej wody, wyposażonymi w instalacje, urządzenia i inną infrastrukturę.

Do oceny ich kompleksowego wpływu na środowisko można wykorzystać

uniwersalne narzędzie jakim jest Ocena Cyklu Życia (LCA). Ta metoda daje obraz pełnego cyklu życia poszczególnych technologii oczyszczania, a jej wyniki w połączeniu z innymi technikami mogą umożliwić opracowanie bardziej rentownych rozwiązań z punktu widzenia ekologicznego i ekonomicznego. Nowoczesna i szeroko propagowana na zachodzie metoda LCA może przyczynić się do opracowania kompleksowych programów lokalnego rozwoju, uzasadnionych z punktu widzenia ekologicznego i ekonomicznego.

2. Ocena Cyklu Życia (LCA) – definicja i podstawowe pojęcia

Ekologiczna (Środowiskowa) Ocena Cyklu Życia (Life Cycle Assessment) według polskiej normy PN EN-ISO 14044 z 2009 roku definiowana jako „zebranie i ocena wejść, wyjść oraz potencjalnych wpływów środowiskowych systemu wyrobu w okresie jego cyklu życia”. Definicja ta choć zwięzła i jednoznaczna wymaga wyjaśnienia pojęć. Wejścia to ilościowe i jakościowe dane na temat zasobów i energii wykorzystywanych do przeprowadzenia analizowanego procesu. Efekt tego procesu czyli zarówno pożądane produkty, usługi jak i emisję oraz odpady to wyjścia. System wyrobu jest rozumiany jako zbiór materiałowo i energetycznie połączonych procesów jednostkowych czyli najmniejszych jego części. System wyrobu posiada oczywiście ustalone przez projektanta granice, w obrębie których dokonuje się badania LCA, przy czym ocenie może podlegać różne procesy produkcyjne lub poszczególne etapy technologii, w tym i technologie oczyszczania ścieków. Nie uniknione jest odcięcie oddziaływań nie istotnych dla badania (tych o niewielkim udziale w całościowym wpływie na środowisko). Granice systemu wyrobu przedstawia schemat na rysunku 1. [6].



Rys. 1. Granice systemu wyrobu
Źródło: Kulczycka, 2011.

Kolejnym ważnym pojęciem jest jednostka funkcjonalna, ustalana również przez badacza. Jednostka funkcjonalna według normy ISO to ilościowy efekt systemu wyrobu stosowany jako jednostka odniesienia w badaniu cyklu życia. Można wyróżnić trzy typy jednostek. Pierwszy, najprostszy to jednostki fizyczne, takie jak metry, kilogramy lub kelwiny. Drugi to określony wyrób i jego funkcja np. oczyszczenie 1000 m³ ścieków lub pewna powierzchnia w terenie oraz sposób jej zagospodarowania. Ostatni, trzeci typ to połączenie jednostek pierwszego typu: na przykład najbardziej popularną jednostką stosowaną w przy ocenie oddziaływania transportu na środowisko jest tonokilometr, inne to m³/rok, m³/mieszkańca [7].

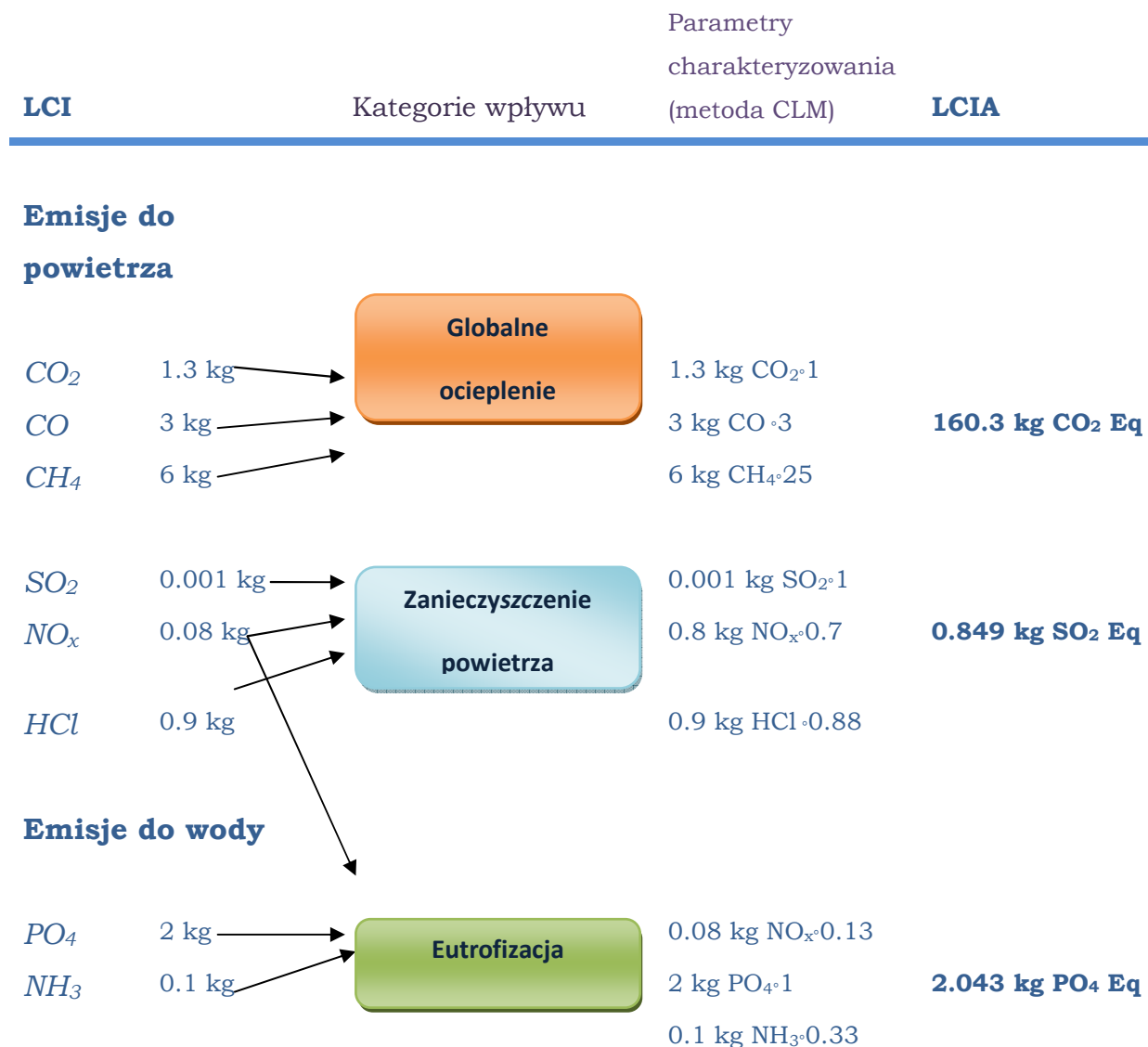
3. Zasady Badania LCA

Niezależnie od przeznaczenia badanie LCA przeprowadza się w 4 fazach przedstawionych w Polskiej Normie: Zarządzanie Środowiskowe - Ocena Cyklu Życia - Wymagania i Wytyczne ISO 14044:2009. Pierwszą fazą jest ustalenie celu i zakresu analizy, następnie podczas LCI (Life Cycle Inventory) czyli Analizy zbioru wejść i wyjść, sporządza się bilans materii i energii wymaganych do przebiegu procesu oraz emisji i odpadów. Uwzględnia się również emisje niematerialne, takie jak hałas oraz odory. Kolejna,

najważniejsza faza to LCIA (Life Cycle Impact Assessment), która polega na obliczeniu wskaźnika kategorii, czyli przedstawienia wybranych problemów środowiskowych w postaci liczbowej. Zawiera ona 3 etapy podstawowe oraz 4 elementy opcjonalne zaprezentowane na rysunku 2. Ostatnia faza to interpretacja wyników według norm, która ma 2 zasadnicze cele [3]:

- 1) analiza wyników, wyciągnięcie wniosków, wyjaśnienie ograniczeń, przedstawienie zaleceń w oparciu o wnioski z poprzednich etapów LCA oraz sporządzenie przejrzystych sprawozdań.
- 2) zapewnienie zrozumiałego, kompletnego i spójnego przedstawienia wyników badań LCA, zgodnie z celem i zakresem badań.

Jednoznaczna interpretacja wyników LCA nie jest prostym zadaniem, stosowanie kilku alternatywnych interpretacji jest więc uzasadnione. Ponadto konieczne jest postępowanie projektanta zgodnie z następującymi wytycznymi: funkcjonowanie obiektu technicznego w perspektywie całego cyklu życia, ukierunkowanie na środowisko, podejście naukowe, względne i iteracyjne oraz wszechstronność [10].

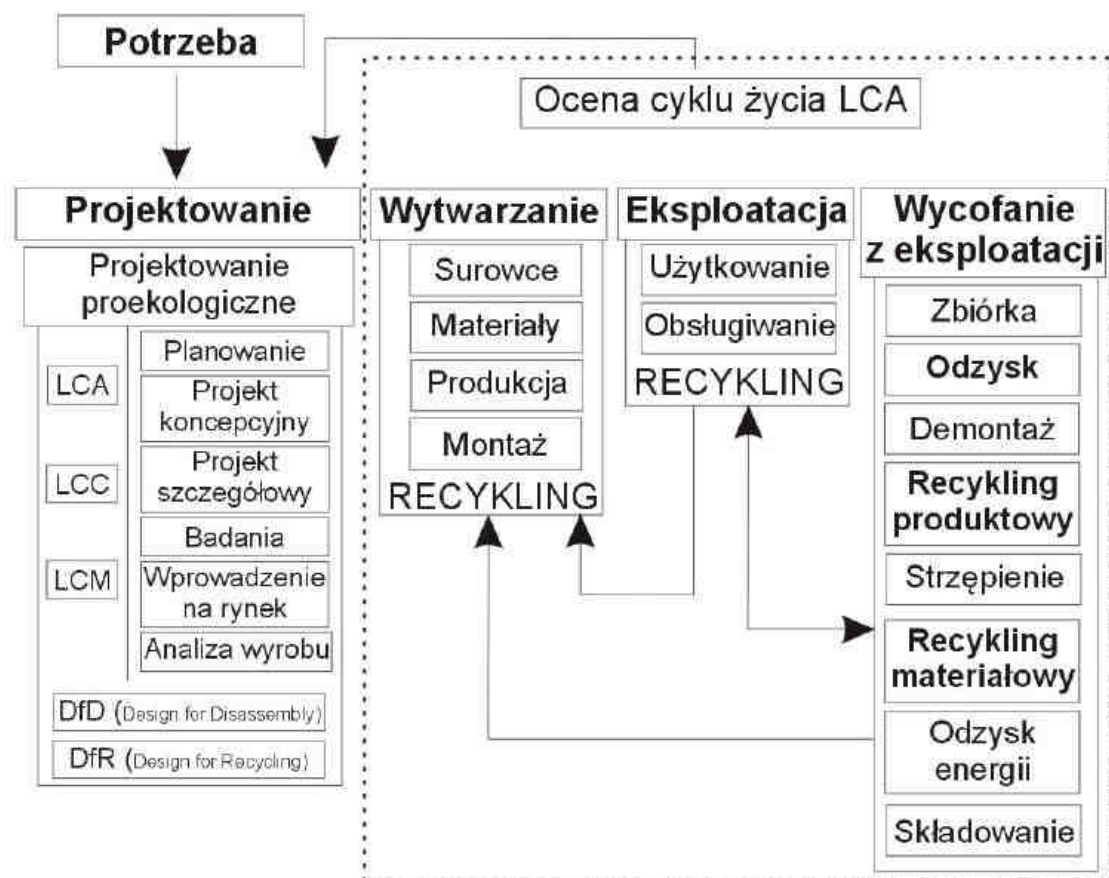


Rys. 2. Ocena wpływu cyklu życia na środowisko
Źródło: Opracowanie własne na podstawie GaBi Software

4. Cykl życia obiektu technicznego

Różnorodne obiekty techniczne powstają w celu zaspokajania coraz to nowych potrzeb wynikających z rozwoju nauki i technologii. Wpływają na środowisko przyrodnicze, co stwarza konieczność analiz struktur cyklu życia tych obiektów. Cykl życia obiektu technicznego ma charakter cykliczny: można wyróżnić fazy projektowania, wytwarzania, eksploatacji oraz wycofa-

nia z eksploatacji, gdzie istotny jest proces ponownego przetwarzania surowców (rys. 3). Ocena dotyczy całego cyklu życia obiektu, prowadzi do poznania wpływów środowiskowych związanych z systemem wyrobu przez bilans materiałów, energii oraz odpadów. Badania są ukierunkowane na 3 obszary: ekosystem, zdrowie ludzkie oraz zużycie zasobów. Wyniki podawane są w punktach przy czym punkty ujemne oznaczają korzystny wpływ obiektu na środowisko. W przypadku obiektów służących ochronie środowiska świadczy to o spełnieniu głównej funkcji np. przy badaniu procesu oczyszczania ścieków ujemny wynik będzie wynikał z oczyszczania wody i energii wydzielonej w procesie spalania osadów ściekowych (o ile umieścimy ten proces w granicach systemu) [3]. Pamiętać należy, że oczyszczone ścieki podlegają standardom emisyjnym, które nie wynikają ze zdolności samooczyszczania odbiornika lecz z polityki. Oznacza to, że jakość zrzucanych ścieków jest determinowana przez regulacje krajowe lub regionalne, często wspólne dla dużych Obszarów zawierających wody o różnej charakterystyce. Nie mają tu zastosowania także Najlepsze Dostępne Technologie (BAT) gdyż mimo ich stosowania poziom oczyszczenia ścieków wzrasta nieznacznie w stosunku do nakładów/kosztów a nie jest to jedyny czynnik warunkujący klasę czystości odbiornika [2].

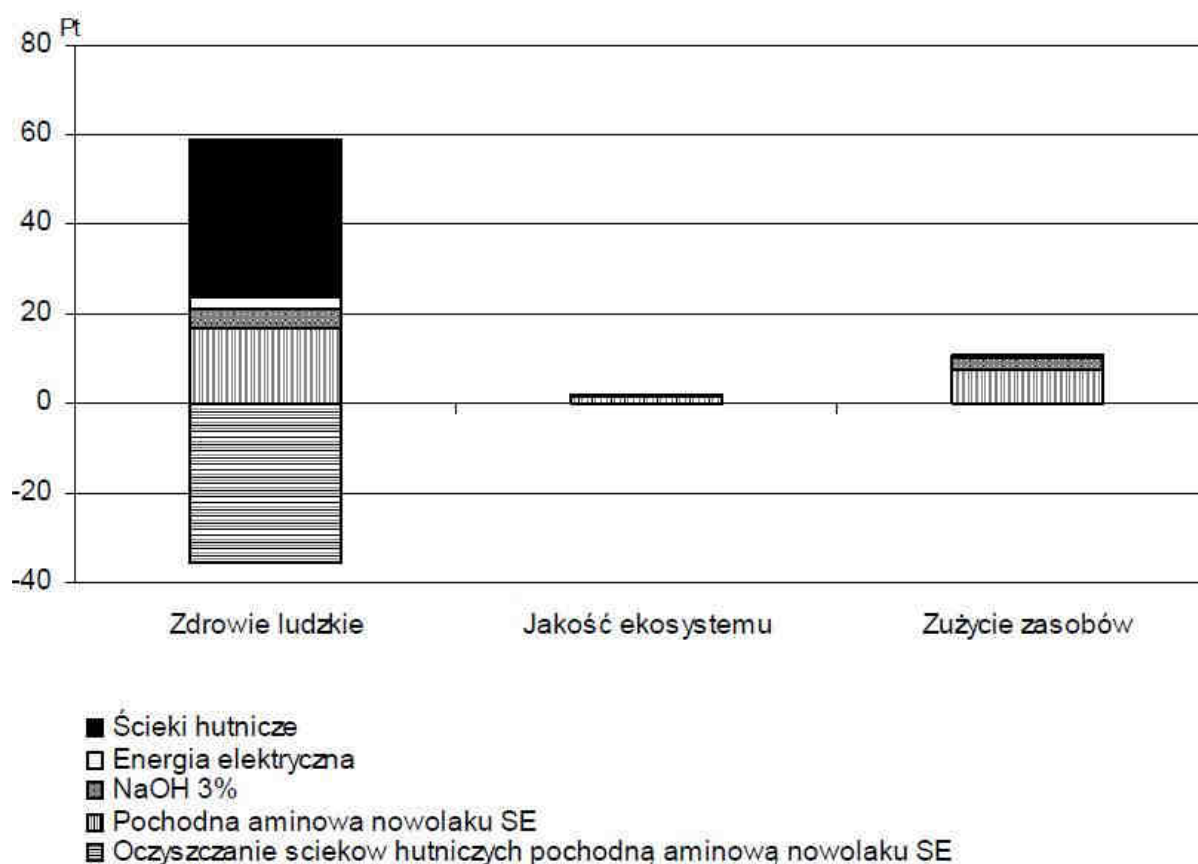


Rys. 3. Cykl życia obiektu technicznego
Źródło: Chamier- Gliszczyński 2010

5. Zastosowania LCA

Ocena Cyklu Życia dla oczyszczalni ścieków ma przede wszystkim zastosowanie jako narzędzie wspierające decyzje. LCA pozwala otrzymać informację, która z alternatywnych technologii oczyszczania ścieków generuje najmniejszy wpływ na środowisko. Jak już wcześniej wspomniano daje także możliwości odnajdywania rozwiązań korzystniejszych pod względem inwestycyjnym jeśli zastosowane zostaną narzędzia ekonomiczne. Taką ocenę przeprowadziły wspólnie dwie placówki naukowe, to jest Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie oraz Katedra Systemów Technicznych i Bezpieczeństwa Pracy Politechniki Częstochowskiej. Ze względu na rozwój technologii pojawiają się możliwości ale i konieczność lepszego wykorzystania odpadów. Przedstawiono tu wykorzystanie flokulantu syntezowanego z odpadów żywicy, której roztwór posłużył do oczyszczenia ścieków hutniczych. Zbadano rozpuszczalność wspomnianego flokulantu w KOH i NaOH, stwierdzono zbliżoną rozpuszczalność i wybrano KOH. Przeprowadzono badania redukcji istotnych zanieczyszczeń w postaci parametrów: mętność, fenole, cyjanki, ChZT, utlenialność, ekstrakt estrowy, azot amonowy, chlorki, siarczany, twardość ogólna, ilość substancji rozpuszczonych i zawiesin w laboratoriach zgodnie z polskimi normami. Działanie nowopowstałego flokulantu porównano z dostępnym w handlu w 4 próbach i zauważono bardzo dobre efekty. Praktycznie w każdym z wymienionych wcześniej parametrów nastąpiła większa redukcja za sprawą działania nowopowstałego flokulantu. Zaprojektowano więc schematy technologiczne do produkcji oraz przeprowadzenie Oceny Cyklu Życia procesu oczyszczania ścieków za pomocą nowopowstałego flokulantu. Cel i zakres LCA sformułowano następująco: ustalenie wpływu na środowisko procesu syntezy nowego flokulantu jak i wykorzystania go do oczyszczania ścieków hutniczych. Za jednostkę funkcjonalną przyjęto 20 tys. m³ ścieków. Badanie wykazało, że największy wpływ generują same ścieki hutnicze oraz produkcja flokulantu.

Największe wpływy odnotowano w kategorii zdrowie ludzkie. Wcześniej wspomniane punkty ujemne wynikają w tej kategorii szkody z oczyszczania ścieków i osiągnęły wartości prawie -40. Niestety punkty dodatnie, które świadczą o negatywnym wpływie na środowisko osiągnęły wartość prawie 60. Stosunkowo niewielkie wpływy negatywne wynikają w tej technologii ze zużycia energii elektrycznej. W pozostałych kategoriach szkody nie pojawiły się punkty ujemne.

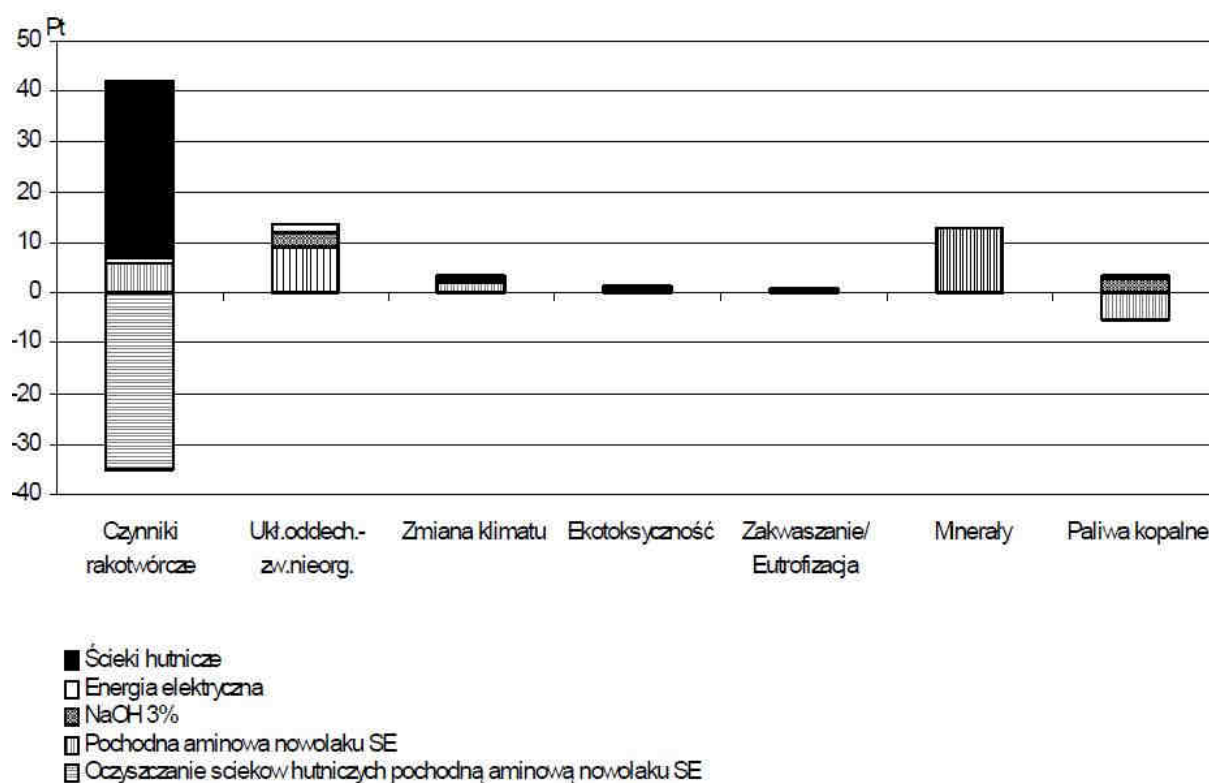


Rys. 4. Histogram ważenia dla 3 kategorii szkody dla oczyszczania ścieków z użyciem nowopowstałego flokulantu.

Źródło: Innowacyjne rozwiązania w procesach produkcji polimerów stosowanych w oczyszczaniu ścieków przemysłowych.

Kategorie szkody rozbito na 11 kategorii wpływu z czego 7 miało wpływ większy niż 1% oddziaływań więc przedstawiono je na wykresie (rysunek 5): czynniki rakotwórcze, wpływ związków nieorganicznych na układ oddechowy, zmiany klimatu, ekotoksyczność, zakwaszenie i eutrofizacja,

minerały oraz paliwa kopalne. Obliczono, że punkty ujemne pojawiły się przy kategoriach: czynniki rakotwórcze (około 35 punktów) oraz paliwa kopalne.



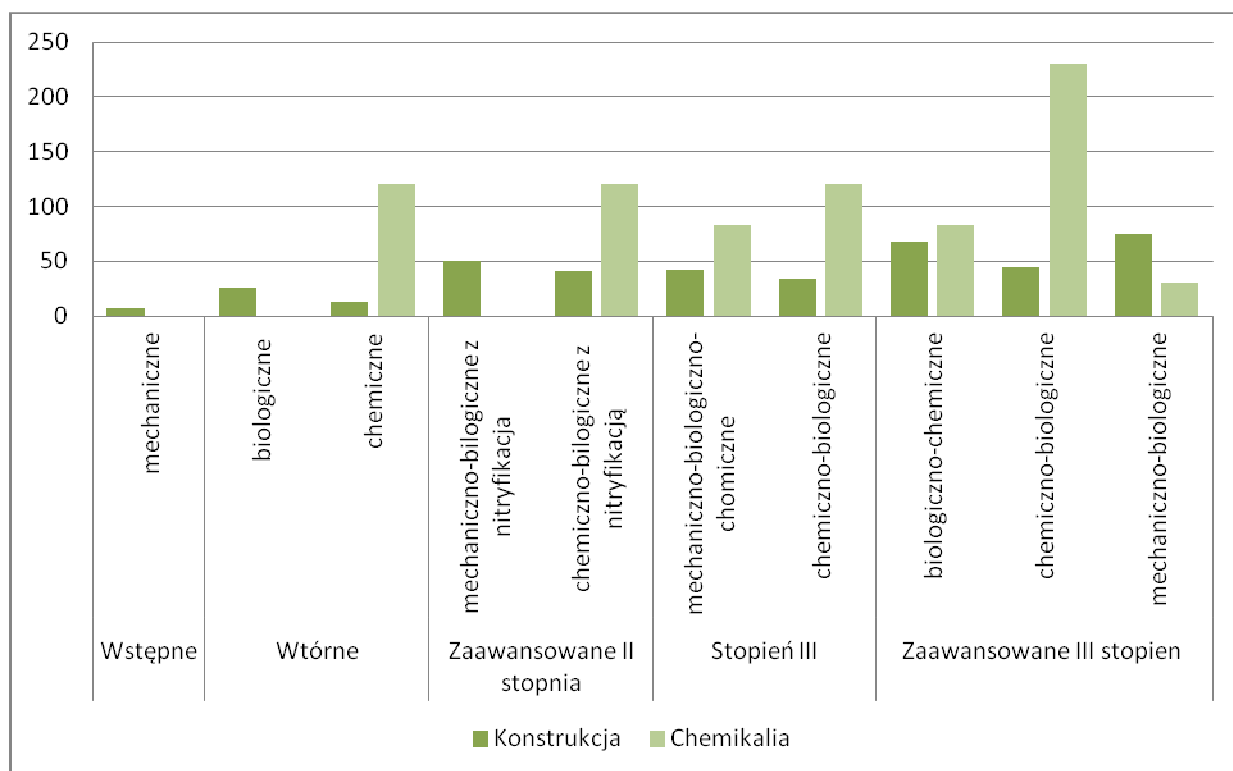
Rys. 5. Histogram ważenia dla 7 kategorii wpływu dla oczyszczania ścieków z użyciem nowopowstałego flokulantu.

Źródło: Innowacyjne rozwiązania w procesach produkcji polimerów stosowanych w oczyszczaniu ścieków przemysłowych.

Podsumowując negatywne wpływy na środowisko nie są w pełni rekompensowane przez „zaoszczędzenie” paliw kopalnych oraz ograniczenie czynników rakotwórczych. Nasuwa się spostrzeżenie, iż właściwe byłoby poszukiwanie mniej złożonej, a przez to bezpieczniejszej dla środowiska metody przetwarzania odpadów w celu uzyskania flokulantu. Kolejna ważna uwaga dotyczy metodologii LCA. Autorzy do przeprowadzenia badania LCA wykorzystali program SimaPro i metodę Eco-Indicator 99 ale zaznaczyli, iż jest to metoda bardziej właściwa dla procesów produkcyjnych i naświetla głównie emisje do powietrza oraz wykorzystanie minerałów i paliw kopalnych. Brak jest więc odpowiedniej metody LCA do oceny technologii związanych z dużymi emisjami do wody, co ma miejsce w przypadku

oczyszczalni ścieków. Eco-Indicator 99 nie bada parametrów takich jak ChZT, twardość ogólna, substancje rozpuszczone. Z punktu widzenia specjalistów oraz ustawodawstwa są to parametry niezwykle istotne przy badaniu jakości wody i ścieków [1][9].

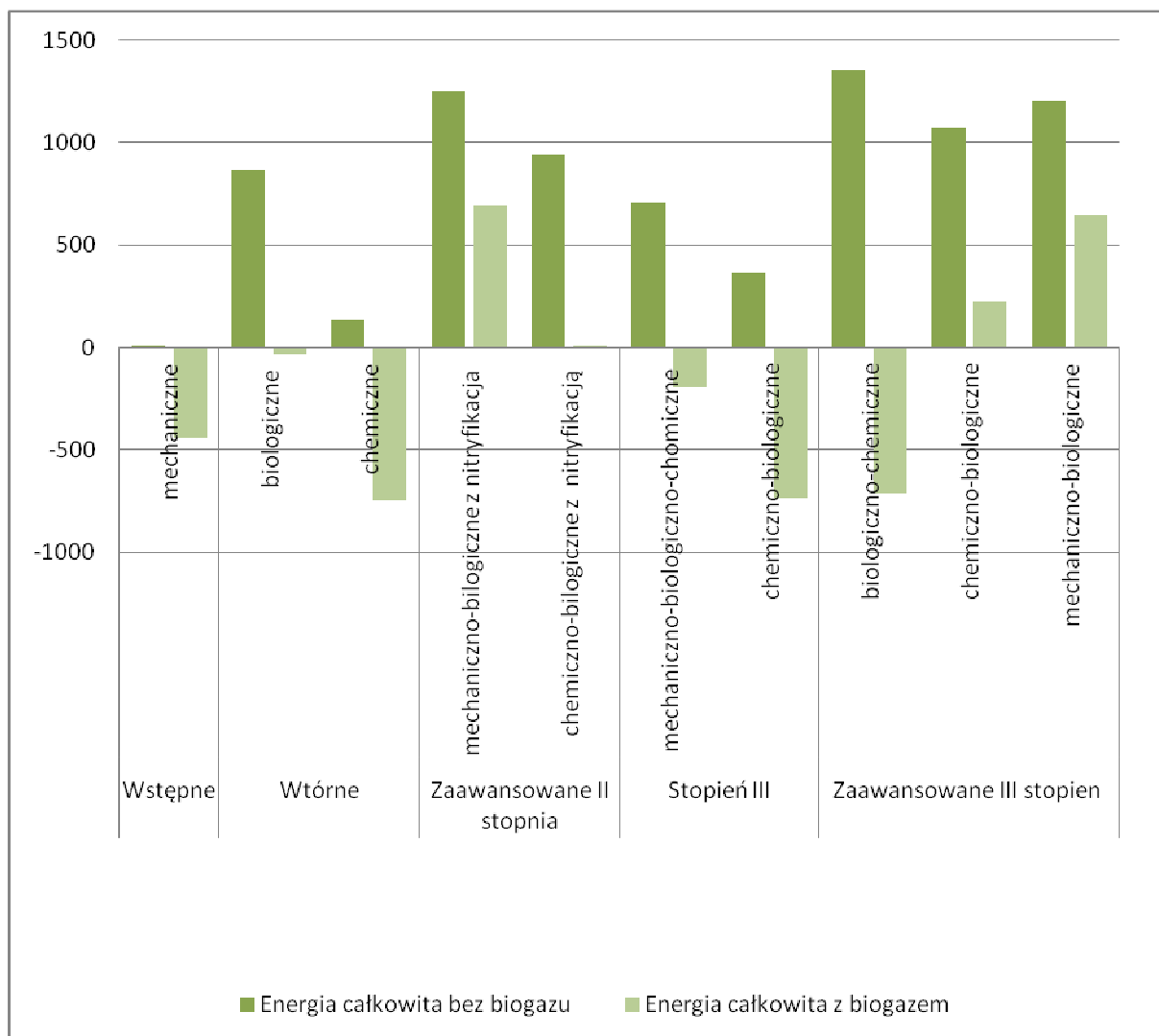
Innym zastosowaniem LCA jest porównanie wpływu na środowisko 6 stopni oczyszczania. Procesy te zostały uszeregowane od najprostszych do najbardziej złożonych, co odpowiada stopniowemu rozwojowi oczyszczalni. W artykule Zastosowanie cyklu życiowego do oczyszczania ścieków opisano i zbadano procesy w ramach konwencjonalnego oczyszczania ścieków przyjmując za jednostkę funkcjonalną oczyszczenie ilości ścieków generowanych przez 100 000 jednostek osobowych. Punkty przyznane poszczególnym procesom były obliczane w następujących kategoriach: konstrukcja, chemikalia i energia elektryczna wykorzystana do produkcji tlenu. Na poniższym wykresie widoczny jest wpływ na środowisko konstrukcji oczyszczalni-można dostrzec że zasadniczo wzrasta on wraz ze wzrostem złożoności procesu oczyszczania ścieków. Jeśli chodzi o chemikalia to ich wpływ jest dość duży (porównaniu do konstrukcji) jeśli już zostały wykorzystane w danym procesie.



Rys. 6. Wpływ oczyszczania ścieków na środowisko w kategoriach konstrukcja i chemikalia

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Zastosowanie cyklu życiowego do oczyszczania ścieków.

We wszystkich analizowanych procesach oczyszczania ścieków uwzględniono produkcję biogazu jako produktu ubocznego. Z tej przyczyny pojawiają się punkty ujemne w kategorii energia. W 6 z 10 wyróżnionych stopni oczyszczania produkcja biogazu równoważy energię zużytą na proces. Badanie to całościowo pokazuje wpływy na środowisko poszczególnych procesów. Uwidacznia także potrzebę poszukiwania procesów pobocznych w wyniku których możemy uzyskać rekompensatę standardowo zużywanych reagentów i energii. Na wykresie (Rys 5) przedstawiono dla porówna energię całkowitą potrzebną do przeprowadzenia danego procesu oraz energię całkowitą po odjęciu energii, która może być teoretycznie uzyskana dzięki spalaniu uzyskanego biogazu[2].



Rys. 7. Wpływ oczyszczani ścieków na środowisko w kategoriach energetycznych

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Zastosowanie cyklu życiowego do oczyszczania ścieków

6. Korzyści wynikające z zastosowania LCA

Norma PN-EN ISO 14041 podaje następujący zakres zastosowania LCA:

- identyfikacja poprawy aspektów środowiskowych;
- podejmowanie decyzji w przemyśle, organizacjach pozarządowych i rządowych – planowanie strategiczne, ustalanie priorytetów, projektowanie i modernizacje procesów;
- wybór istotnych wskaźników oceny efektów działalności środowiskowej, włączając techniki pomiarowe;
- marketing [7].

Z różnych przeznaczeń wynikają 3 poziomy szczegółowości: koncepcyjny, uproszczony oraz szczegółowy (tab. 1).

Tab. 1. Poziomy LCA a planowane zastosowania

Potencjalne zastosowanie	Poziom		
	Koncepcyjny	Uproszczony	Szczegółowy
Projektowanie	+	+	–
Udoskonalanie wyrobu	–	+	+
Analiza porównawcza	–	+	+
Etykietowanie	–	+	–
Ustanowienie norm	–	+	–
Planowanie strategii rozwoju	+	+	–
Działania marketingowe	–	+	+
Kształtowanie polityki produktowej	+	–	+

Źródło: Kulczycka Joanna, www.min-pan.krakow.pl

Prowadzenie badań i analiz techniką LCA stwarza szanse efektywnego i oszczędnego wykorzystania surowców, bo bazuje na realnych danych wejściowych i wyjściowych danego procesu. LCA naświetla te miejsca cyklu

życia, gdzie obciążenie środowiska jest szczególnie duże. Taką informację można wykorzystać zarówno na etapie budowy jak i modernizacji oczyszczalni lub wprowadzania alternatywnych procesów. Należy pamiętać, iż badanie dotyczy tylko i wyłącznie aspektów środowiskowych. Jednak w normie ISO 14043 pojawia się zdanie: „Pomimo, że decyzje oparte na efektywności technicznej, aspektach ekonomicznych lub społecznych znajdują się poza obszarami LCA, kwestie środowiskowe wybrane do włączania jako część określenia celu i zakresu, mogą odzwierciedlać takie kwestie. Projektant może wybierać więc na podstawie wyników oceny rozwiązanie korzystniejsze z ekonomicznego punktu widzenia np. przez otrzymanie zbliżonych wyników dla dwóch alternatywnych procesów. Jak zaznaczono we wstępie niniejszego artykułu, oczyszczalnie ścieków jako specyficzne obiekty techniczne służące ochronie zasobów wód powierzchniowych, powinny podlegać szczególnie restrykcyjnym wymogom jeśli chodzi o generowane oddziaływanie na środowisko. LCA to narzędzie Zarządzania Środowiskowego, więc przeprowadzenie badania może być krokiem w kierunku wdrożenia tego systemu w celu oceny oddziaływania tych obiektów na środowisko. Ponad to coraz częściej ma ono zastosowanie do formułowania deklaracji środowiskowych oraz wyznaczenia strategii zrównoważonego rozwoju przez jednostki administracji publicznej. W krajach UE jest to zalecane narzędzie dla ewaluacji proekologicznych przedsięwzięć w różnych dziedzinach gospodarki [8].

7. Wnioski

Zastosowanie LCA dla tak złożonych obiektów jakimi są oczyszczalnie ścieków komunalnych i przemysłowych, wymaga dużego nakładu pracy interdyscyplinarnego zespołu specjalistów, ale z pewnością pozwoli na uzyskanie rzetelnej informacji na temat ich oddziaływań na środowisko, co może być wykorzystane do opracowania uzasadnionych ekologicznie i ekonomicznie decyzji w zakresie ochrony wód, a także jako element prestiżu na arenie międzynarodowej [6].

Bibliografia

1. Bajdur Wioletta M., Henclik Anna, Innowacyjne rozwiązania w procesach produkcji polimerów stosowanych w oczyszczaniu ścieków przemysłowych.
2. Baltic University Programme, Oczyszczeni Ścieków, Zastosowanie cyklu życiowego dla oczyszczalni ścieków, Zrównoważony Rozwój Bałtyku, Zeszyt 5
3. Chamier-Gliszczyński N., Analiza Cyklu Życia Obiektów technicznych w Transporcie, Autobusy Technika Eksploatacja, Systemy Transportowe, 6/2010, Koszalin
4. Krajowy program oczyszczania ścieków komunalnych;
5. www.kzgw.gov.pl/pl/Krajowy-program-oczyszczania-sciekow-komunalnych.html
6. Kulczycka J., Ekoefektywność projektów Inwestycyjnych z wykorzystaniem koncepcji Cyklu życia produktu, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2011
7. Kulczycka Joanna, praca zbiorowa Ekologiczna ocena Cyklu Życia (LCA) nową techniką Zarządzania Środowiskowego, Kraków, Wydawnictwo IGSMiE PAN, 2001, ISBN 83-87854-29-8.
8. Polska norma: Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Wymagania i wytyczne, PN EN-ISO 1044:2009, ISBN 978-83-251-7949-6
9. Product Ecology Consultants, Eco-indicator 99 impact assessment method for LCA, www.pre-sustainability.com/content/eco-indicator-99
10. Żylicz Tomasz, Analiza cyklu życia, Aura, maj 2011, <http://coin.wne.uw.edu.pl/tzylicz/aura.html>.