

ZASTOSOWANIE METODY OCENY CYKLU ŻYCIA LCA DO OSZACOWANIA WPŁYWU NA ŚRODOWISKO WYTWARZANIA PALIWA BIOGAZOWEGO DO SILNIKÓW SPALINOWYCH

IZABELA SAMSON-BRĘK

Przemysłowy Instytut Motoryzacji
Zakład Odnawialnych Zasobów Energii

Streszczenie

Ocena Cyklu Życia LCA (ang. Life Cycle Assessment) to „technika mająca na celu ocenę zagrożeń środowiskowych związanych z systemem wyrobu lub działaniem, zarówno poprzez identyfikowanie oraz ocenę ilościową zużytych materiałów i energii oraz odpadów wprowadzanych do środowiska, jak i ocenę wpływu tych materiałów, energii i odpadów na środowisko. Ocena dotyczy całego okresu życia wyrobu lub działania począwszy od wydobycia i przetwórstwa surowców mineralnych, procesu produkcji wyrobu, dystrybucji, stosowania, wtórnego wykorzystania, utrzymania, recyklingu i końcowego zagospodarowania oraz transportu. LCA ukierunkowuje badanie wpływu na środowisko systemu wyrobu w obszar ekosystemu, zdrowia ludzkiego oraz zużytych zasobów”. W świetle zobowiązań, jakie nakłada na kraje członkowskie Unia Europejska dotyczących minimalizacji wpływu na środowisko przemysłu paliwowego, metoda LCA wychodzi naprzeciw tym wymaganiom i jest użytecznym narzędziem w ich realizacji. Obejmuje ona cały cykl życia paliwa od momentu pozyskania surowców, poprzez jego wytworzenie, użytkowanie oraz procedury postępowania z paliwami niespełniającymi wymagań norm przedmiotowych. W publikacji omówiono metodę oceny cyklu życia LCA jako jedną z metod pozwalających na oszacowanie wpływu na środowisko procesu wytwarzania paliwa biogazowego mającego zastosowanie do silników spalinowych. Omówiono również poszczególne etapy LCA oraz wymagania i zasady sporządzania oceny, które regulowane są przez normy serii ISO 14000 (od 14040 do 14049) oraz ich polskie odpowiedniki.

Słowa Kluczowe: biogaz, LCA, ekologiczna ocena cyklu życia, paliwo, ISO, dane wejściowe, dane wyjściowe

1. Wprowadzenie

Ocena Cyklu Życia LCA (ang. Life Cycle Assessment) jest stosunkowo nową metodą zarządzania środowiskowego. Pozwala na identyfikację najważniejszych aspektów środowiskowych

oraz ocenę ich wpływu na środowisko w całym cyklu życia danego wyrobu (tzn. „od kołyski do grobu”) począwszy od pozyskania surowców przez proces produkcyjny, użytkowanie oraz końcowe zagospodarowanie odpadów.

W świetle zobowiązań, jakie nakłada na kraje członkowskie Unia Europejska dotyczących minimalizacji wpływu na środowisko przemysłu paliwowego, metoda LCA wychodzi naprzeciw tym wymaganiom i jest użytecznym narzędziem w ich realizacji. Obejmuje ona cały cykl życia paliwa od momentu pozyskania surowców, poprzez jego wytworzenie, użytkowanie oraz procedury postępowania z paliwami niespełniającymi wymagań norm przedmiotowych.

Zastosowanie metody LCA w sektorze paliw pozwala na uświadomienie i wskazanie współzależności między działalnością człowieka a jej konsekwencjami dla środowiska naturalnego. Stanowi również ważne źródło informacji w procesie podejmowania decyzji mających na celu zminimalizowanie negatywnego wpływu wytwarzania paliw na środowisko przyrodnicze, a co za tym idzie poprawę jego stanu.

W niniejszym artykule przedstawiono analizę możliwości zastosowania oceny cyklu życia do oszacowania wpływu na środowisko biogazu jako paliwa silnikowego.

2. Zarys historyczny

Pierwsze wzmianki dotyczące LCA pochodzą z prac Harolda Smitha, przedstawionych na Światowej Konferencji Energetycznej w 1969 r. Badania Smitha dotyczyły wytwarzania różnych rodzajów energii na drodze wybranych procesów chemicznych. Jedną z pierwszych firm, która zainteresowała się wykorzystaniem tych analiz w praktyce, była Coca-Cola. Firma Coca-Cola zleciła przeprowadzenie badań opakowań do napojów. Teoretyczne podstawy metodyki LCA ustalono w 1990 r. podczas konferencji w Vermont [1]. Wzrastające zainteresowanie metodyką LCA sprawiło, że Stowarzyszenie Chemii i Toksykologii Środowiskowej oraz Międzynarodowej Organizacji Standaryzacyjnej rozpoczęły prace nad ujednoczeniem i normalizacją metodyki LCA. Efektem tych prac było powstanie definicji LCA, zgodnie z którą: *„LCA to technika mająca na celu ocenę zagrożeń środowiskowych związanych z systemem wyrobu lub działaniem, zarówno poprzez identyfikowanie oraz ocenę ilościową zużytych materiałów i energii oraz odpadów wprowadzanych do środowiska, jak i ocenę wpływu tych materiałów, energii i odpadów na środowisko. Ocena dotyczy całego okresu życia wyrobu lub działania począwszy od wydobycia i przetwórstwa surowców mineralnych, procesu produkcji wyrobu, dystrybucji, stosowania, wtórnego wykorzystania, utrzymania, recyklingu i końcowego zagospodarowania oraz transportu. LCA ukierunkowuje badanie wpływu na środowisko systemu wyrobu w obszar ekosystemu, zdrowia ludzkiego oraz zużytych zasobów”* [2], [3] oraz szeregu norm.

3. Charakterystyka LCA

Wytyczne odnośnie do oceny cyklu życia LCA regulowane są przez normy serii ISO 14000 (od 14040 do 14049) oraz ich polskie odpowiedniki (tabela 1). Normy te zawierają wymagania

i zasady sporządzania oceny, jak również zasady interpretacji jej wyników i wzory wymaganych dokumentów.

Tabela 1. Normy ISO dotyczące oceny cyklu życia.

Norma ISO	Polska norma
ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework	PN-EN ISO 14040:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura
ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines	PN-EN ISO 14044:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne
ISO/TR 14047:2003 Environmental management – Life cycle impact assessment – Examples of application of ISO 14042	PKN-ISO/TR 14047:2006 Zarządzanie środowiskowe – Ocena wpływu cyklu życia – Przykłady stosowania ISO 14042
ISO/TS 14048:2002 Environmental management – Life cycle assessment – Data documentation format	Polish version of the specification Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Format dokumentowania danych
ISO/TR 14049:2000 Environmental management – Life cycle assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis	Polish version of the report Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu Życia – Przykłady stosowania ISO 14041 do określania celu i zakresu oraz analizy zbioru
ISO 14050:2009 Environmental management – Vocabulary	brak polskiej wersji

Badania oceny cyklu życia przeprowadzone dla tych samych wyrobów mogą być wykonane z uwzględnieniem różnych poziomów szczegółowości – w zależności od potrzeb odbiorcy wyników oceny i dostępności danych wejściowych. Wyróżnia się trzy podstawowe warianty LCA [4], [1]:

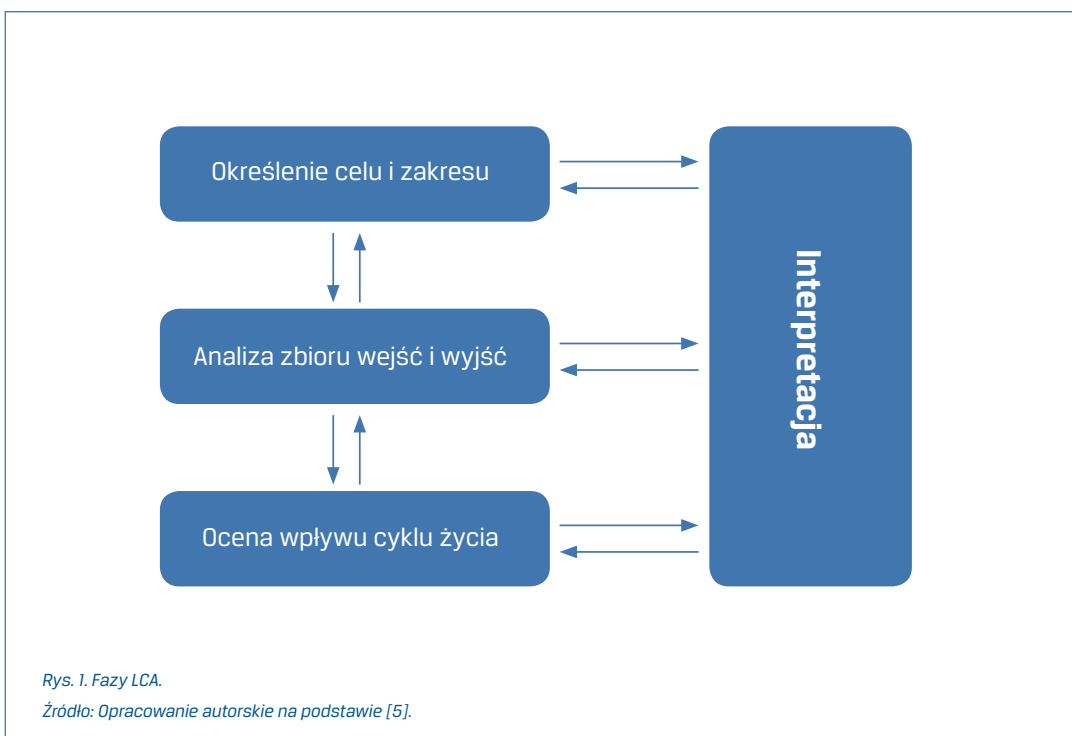
- Wariant koncepcyjny (*screening LCA*) – stosowany najczęściej w granicach jednego podmiotu, a także wówczas, gdy w ocenie nacisk położony jest na szybkość analizy (krótki czas) lub niski budżet. Używane są szacunkowe dane wtórne z istniejących baz danych lub opracowań statystycznych. W tym wariantcie LCA zalecane jest przeprowadzenie analizy wrażliwości w celu sprawdzenia rzeczywistego oddziaływania otrzymanych rezultatów na kluczowe zagadnienia analizy. Czas opracowania: od kilku dni do około jednego miesiąca.
- Wariant uproszczony (*simplified LCA*) – wykorzystywany w procesach decyzyjnych związanych z rozwojem produktu oraz strategiach komunikacji. Stosowane dane pochodzą z istniejących baz danych, ale powinny być uzupełnione o aktualne dane literaturowe

oraz dane pierwotne pochodzące od dostawców, producentów lub innych uczestników łańcucha produktu, ds. z bezpośrednich wywiadów lub pomiarów. Niezbędne jest wykonanie analizy wrażliwości w celu ewentualnego skorygowania istotnych założeń. Czas opracowania: od kilku tygodni do kilku miesięcy.

- Wariant szczegółowy (*detailed LCA*) – stosowany do pełnych badań oceny cyklu życia wyrobu oraz do badań porównawczych pomiędzy wyrobami. Używane są szczegółowe dane pierwotne pochodzące z bezpośrednich pomiarów, analiz, wywiadów, następnie aktualne dane literaturowe oraz zweryfikowane pod kątem jakości dane statystyczne. Zgodnie z zapisami norm ISO serii 14040 do procesu oceny powinno włączyć się, na każdym etapie, niezależnego recenzenta. Wymagany jest opis wszystkich procedur, uzasadnień dokonywanych wyborów, niekompletności danych ds. oraz przeprowadzenie kompleksowej analizy wrażliwości. Czas opracowania: od kilku miesięcy do jednego roku.

Zgodnie z normami ISO dotyczącymi LCA metodyka badań LCA składa się z czterech faz przedstawionych na rysunku 1 [5], [6]:

- określenie celu i zakresu (Goal and Scope definition);
- analiza zbioru wejść i wyjść (Life Cycle Inventory Analysis – LCI);
- ocena wpływu cyklu życia (Life Cycle Impact Assessment – LCIA);
- interpretacja (Life Cycle Interpretation).



3.1 Cel i zakres analizy

Jest to pierwsza faza oceny LCA, w której podejmowane są decyzje determinujące całość analizy. Norma PN-EN ISO 14040:2006 [5] reguluje pojęcie celu badań, który powinien jednoznacznie określać zamierzone zastosowanie, powody podjęcia badań oraz potencjalnego odbiorcę. Celem opracowania jest określenie wpływu na środowisko wytwarzania i użytkowania biogazu jako paliwa silnikowego. Zakres badań wynika z założonego celu i obejmuje proces produkcji energii.

Zakres badań wynika bezpośrednio z założonego celu i zgodnie z normą PN-EN ISO 14040:2006 powinien zawierać między innymi następujące informacje [5]:

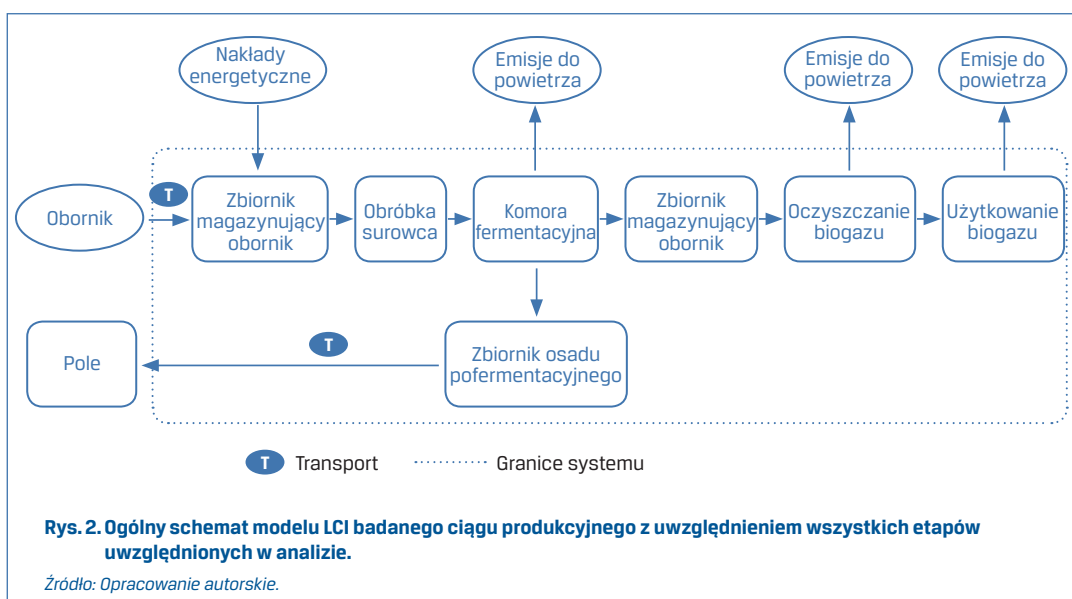
- funkcję systemu wyrobu,
- jednostkę funkcjonalną,
- system wyrobu poddany analizie,
- granice systemu wyrobu,
- procedury alokacji,
- rodzaje wpływów i metodykę oceny wpływu, a następnie jej interpretację,
- wymagania w stosunku do jakości danych,
- założenia,
- wyłączenia.

Jednostka funkcjonalna to „miara efektów spełnianych przez wyjścia funkcjonalne systemu wyrobu” [5]. W przypadku oceny cyklu życia biogazu jednostka funkcjonalna została zdefiniowana jako ilość paliwa niezbędna do pokonania dystansu 100 km w warunkach miejskich. System odniesienia zaś powinien stanowić ilość benzyny silnikowej niezbędnej do pokonania tego samego dystansu w tych samych warunkach.

Granice systemu pozwalają na określenie, które procesy jednostkowe powinny zostać objęte analizą. Na wyznaczenie granic systemu ma wpływ szereg czynników, między innymi cel badań, przyjęte założenia oraz wykluczenia. Zgodnie z celem opracowania granice analizowanego systemu obejmą transport surowca, wytwarzanie biogazu w komorze fermentacyjnej, oczyszczanie powstałego gazu oraz jego użytkowanie (rys. 2). Granicami systemu objęty zostanie również transport na pole osadu pofermentacyjnego, stosowanego jako nawóz jednak jego koszty jego aplikacji znajdą się poza granicami systemu. Poza granicami systemu znajdzie się również produkcja samochodów służących do transportu surowca oraz urządzeń wchodzących w skład instalacji. Substrat w postaci odchodów zwierzęcych stosowany w procesie fermentacji metanowej jest jednocześnie odpadem powstającym w wyniku howu krów, trzody chlewnej oraz drobiu, w związku z tym jego pozyskanie również znajduje się poza granicami systemu. Odpady w procesie produkcji biogazu, oprócz osadu pofermentacyjnego, stanowią głównie emisje do powietrza oraz wody z procesu oczyszczania biogazu [7 - 10].

Jako najkorzystniejszą z ekonomicznego i środowiskowego punktu widzenia technologią oczyszczania biogazu uznano płuczki wodne. Są one najczęściej stosowaną techniką oczyszczania biogazu, zaś instalacje wykorzystujące tę metodę są powszechnie dostępne na rynku. W kolumnie płuczki ditlenek węgla jest rozpuszczany w wodzie, stężenie metanu zaś w fazie gazowej wzrasta. Gaz opuszczający płuczkę ma znacznie większe stężenie

metanu. Woda opuszczająca kolumnę absorpcyjną trafia do zbiornika magazynującego. Gaz, który zawiera jeszcze pewne, możliwe do odzyskania, ilości metanu jest zawracany ponownie do wlotu gazu surowego. Jeśli woda ma być poddana procesowi recyklingu, to jest ona przenoszona do kolumny desorpcyjnej wypełnionej uszczelnieniem wykonanym z tworzywa sztucznego. Woda schładzana jest do temperatury, w której możliwe będzie osiągnięcie znacznej różnicy rozpuszczalności pomiędzy ditlenkiem węgla, a metanem zanim zostanie ona poddana procesowi recyklingu i zwrócona do kolumny absorpcyjnej [11, 12].



Zakres geograficzny analizy kształtuje się od lokalnego do krajowego. Część danych ma charakter miejscowo specyficzny (np. pozyskanie surowca), natomiast inne dane mają charakter ogólnokrajowy. W tabeli 2 przedstawiono czasowy, geograficzny i technologiczny zakres prowadzonych analiz odnoszący się do wyrobu głównego oraz szerokość i głębokość systemu.

Tabela 2. Czasowy, geograficzny i technologiczny zakres prowadzonych analiz oraz szerokość i głębokość systemu.

Wyrób	Produkcja oraz wykorzystanie biogazu jako paliwa silnikowego
Szerokość systemu	„od kołyski do grobu” od etapu hodowli roślin do spalania paliwa w silniku spalinowym
Głębokość systemu	maksymalnie do 2 poziomu
Zakres czasowy (systemu wyrobu)	15 lat
Zakres czasowy (danych)	do 5 lat
Zakres geograficzny	lokalny do krajowego
Zakres technologiczny	nowoczesne technologie

3.2 Analiza zbioru wejść i wyjść

W drugim etapie analizy LCA gromadzone i analizowane są dane odnoszące się do wejść i wyjść do/ze środowiska (LCI). Dane do poszczególnych procesów jednostkowych będących w granicach systemu wyrobu można, zgodnie z normą PN-EN ISO 14040:2006, zaliczyć do następujących typów [5]:

- dane wejściowe: nakłady energetyczne, nakłady surowcowe, dane pomocnicze oraz inne,
- dane wyjściowe: produkty, półprodukty oraz odpady,
- emisje zanieczyszczeń do powietrza, wody i gleby
- inne aspekty środowiskowe.

Dane wejściowe (LCI), czyli materiały i energia, oraz wyjściowe, czyli produkty główne, produkty uboczne, odpady i emisje zanieczyszczeń (tabela 3) są gromadzone w postaci tabel inwentarzowych prezentujących ilościowe ujęcie zużywanych surowców naturalnych, półproduktów oraz generowanych odpadów. Ważnym etapem gromadzenia danych jest sprawdzenie ich kompletności oraz jakości pozyskiwanych danych.

Zgodnie z zapisami normy PN-EN ISO 14044:2006 [6] proces selekcji danych powinien być przeprowadzony w największą starannością. Najcenniejsze i zarazem najbardziej pożądane są dane będące wynikiem badań własnych. W przypadku braku takich danych, norma dopuszcza korzystanie z danych zawartych w literaturze oraz dostępnych bazach danych.

Tabela 3. Dane wejściowe i wyjściowe w procesie wytwarzania biogazu o 98% zawartości metanu.

Dane wejściowe z „natury”	
Woda	do procesu oczyszczania
Dane wejściowe z „technosfery” (materiały, paliwa, energia elektryczna i ciepło)	
Substrat główny	Gnojowica
Zużycie paliw	Zużycie paliw podczas transportu surowca
Zużycie energii elektrycznej	Zużycie energii elektrycznej w instalacji (wytwarzanie biogazu oraz proces oczyszczania)
Zużycie energii cieplnej	Zużycie energii cieplnej do utrzymania odpowiedniej temperatury w komorze fermentacyjnej
Dane wyjściowe	
Produkt główny	Biogaz o 98% zawartości metanu
Odpady i emisje	
Odpady stałe	Osad pofermentacyjny - stosowany jako nawóz (tzw. avoided products czyli uniknięta produkcja saletry amonowej i nawozów azotowych)
Emisje do powietrza	CH ₄
	CO ₂
	NO _x
Emisje do wody	Woda odpadowa z procesu oczyszczania biogazu

4. Ocena wpływu cyklu życia

Celem etapu oceny wpływu cyklu życia jest określenie zależności środowiskowych wszystkich wejść i wyjść objętych zakresem badań LCA oraz oszacowania wielkości ich wpływu na środowisko.

Na tym etapie dokonuje się klasyfikacji wyników LCI do odpowiednich kategorii wpływu opierając się na przyjętych priorytetach środowiskowych, z uwzględnieniem uwarunkowań lokalnych i regionalnych. Kategoriom wpływu przypisuje się określone wagi w zależności od stopnia wpływu na środowisko danego aspektu środowiskowego. LCIA składa się z dwu grup elementów [6]:

- obowiązkowych, do których zalicza się:
 - wybór kategorii wpływu, wskaźników kategorii i modeli charakteryzowania,
 - przypisanie wyników LCI do poszczególnych kategorii wpływu (klasyfikacja),
 - obliczenie wartości wskaźnika kategorii (charakteryzowanie),
- opcjonalnych, do których zalicza się:
 - normalizowanie,
 - grupowanie,
 - ważenie,
 - analiza jakości danych.

Przy wyborze kategorii wpływu należy wziąć pod uwagę cel i zakres analizy. Jedne metody analizy pozwalają na zaprezentowanie wyników w postaci jednego punktu wyrażonego wartością liczbową, inne zaś umożliwiają prezentację wyników w postaci wskaźników scharakteryzowanych dla każdej kategorii z osobna. Jednak normy ISO serii 14040 nakazują unikanie prezentacji wyników w postaci tylko jednej wartości oraz sugerują zastosowanie metod dających szersze spektrum możliwości analizy. Jedną z takich metod jest metoda Eco-Indicator 99. W metodzie tej wyróżniamy 11 kategorii wpływu [13]:

- carcinogens (czynniki rakotwórcze),
- respiratory organics (wpływ na układ oddechowy – związki organiczne),
- respiratory inorganics (wpływ na układ oddechowy – związki nieorganiczne),
- climate change (zmiany klimatu),
- radiation (promieniowanie),
- ozon layer (zubożenie warstwy ozonowej),
- ecotoxicity (ekotoksyczność),
- acidification/eutrophication (zakwaszenie/eutrofizacja)
- minerals (surowce mineralne),
- fossil fuels (wydobycie paliw kopalnych),
- land use (zużycie terenu).

W przypadku oceny cyklu życia wytwarzania i użytkowania biogazu jako paliwa silnikowego największe znaczenie będzie miała kategoria wpływ na zmiany klimatu (tabela 4) [14]. Znaczenie powyższych kategorii jest głównie związane z emisją gazów cieplarnianych i innych substancji szkodliwych zarówno podczas wytwarzania biogazu, jak również podczas jego spalania w silniku.

Czynnikami, które mają największy wpływ na kategorię zmian klimatu są straty metanu

podczas transportu surowca do instalacji oraz wytwarzania biogazu (około 3%) jak również ditlenek węgla powstający podczas spalania biometanu. Metan należy do grupy tzw. gazów cieplarnianych, które wpływają na zmiany klimatu, określane mianem efektu cieplarnianego. Według różnych ocen, wpływ metanu na pogłębianie efektu cieplarnianego jest 21-krotnie wyższy w porównaniu z ditlenkiem węgla.

Tabela 4. Kategorie wpływu LCIA.

Kategoria wpływu	Dane LCI	Wskaźnik
Zmiany klimatu	- ditlenek węgla (CO ₂) - ditlenek azotu (NO ₂) - metan (CH ₄)	Przeliczenie danych LCI na ekwiwalent ditlenku węgla (CO ₂)
Zakwaszenie	- tlenki siarki (SO _x) - tlenki azotu (NO _x) - kwas solny (HCL) - amoniak (NH ₄)	Przeliczenie danych LCI na ekwiwalent jonów wodorowych H+
Eutrofizacja	- Fosforany (PO ₄) - Tlenki azotu (NO) - Ditlenek azotu (NO ₂) - Azotany - Amoniak (NH ₄)	Przeliczenie danych LCI na ekwiwalent fosforanów (PO ₄)

W przypadku innych kategorii wpływu takich, jak np. zakwaszanie czy eutrofizacja wpływ biogazu na środowisko jest w znacznym stopniu rekompensowany dzięki zastosowaniu osadu pofermentacyjnego jako nawozu i uniknięcie w ten sposób produkcji saletry amonowej i nawozów azotowych. Produkcja nawozów mineralnych wymaga dużych nakładów energii pochodzącej z paliw kopalnych, a ich stosowanie powoduje znaczne emisje związków azotu wpływając tym samym na proces eutrofizacji, zakwaszenia oraz na uszkodzenie warstwy ozonowej.

5. Interpretacja wyników LCA

Interpretacja jest ostatnią fazą analizy LCA i towarzyszy wszystkim omówionym etapom począwszy od określenia celu i zakresu, aż po interpretację wyników oceny cyklu życia. Podstawowym celem interpretacji jest przegląd i rozważanie wyników oraz sprawdzenie ich kompletności, spójności i przydatności z punktu widzenia założonego celu i zakresu. Ostatnia faza LCA służy sformułowaniu ostatecznych wniosków, wyjaśnieniu ograniczeń oraz przedstawieniu wytycznych służących zmniejszaniu skutków środowiskowych [5].

LCA jako technika iteracyjna powoduje, że od interpretacji rezultatów prowadzonych badań, uzyskanych w tej fazie oceny cyklu życia, zależy ewentualna zmiana wstępnych warunków. Wyniki są przedstawiane w formie raportu. Na podstawie zamieszczonych w raporcie informacji podejmowane są decyzje mające na celu minimalizację negatywnego oddziaływania działalności, a także rozstrzygnięcia odnośnie rozwiązań technologicznych mających na celu poprawę jakości środowiskowej wyrobu.

6. Wnioski

Z wytwarzaniem i wykorzystaniem paliw jest związana duża emisja gazów cieplarnianych i substancji szkodliwych do środowiska. Szansą na ograniczenie tego negatywnego wpływu jest poszukiwanie nowych, bardziej przyjaznych środowisku niż paliwa kopalne, nośników energii. Takim nośnikiem staje się biogaz rolniczy wykorzystywany jako paliwo silnikowe.

Rosnąca świadomość społeczna oraz zaostrzenie wymagań prawnych w kwestiach ochrony środowiska powodują wzrost zainteresowania metodami mogącymi spowodować zmniejszenie niekorzystnego oddziaływania na środowisko. Pomocną przy wyborze i modyfikacji metody jest ocena cyklu życia LCA która, ze względu na swój kompleksowy charakter, pozwala na pełną ocenę wpływu na środowisko całego procesu wytwórczego począwszy od pozyskania surowców, aż do końcowego zagospodarowania odpadów powstałych w wyniku użytkowania wyrobu. W przypadku wytwarzania biogazu rolniczego stosowanego jako paliwo silnikowe ocenie LCA poddano wytwarzanie biogazu, jego oczyszczanie oraz użytkowanie jako paliwo silnikowe. Założono również, iż osad pofermentacyjny stanowiący odpad poprodukcyjny może być wykorzystany jako nawóz stosowany do celów rolniczych.

Zastosowanie metody LCA niesie ze sobą szereg korzyści nie tylko środowiskowych, ale także ekonomicznych. Metoda ta może okazać się użyteczna przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych pozwalających na zminimalizowanie wpływu działalności instalacji na środowisko. Na podstawie wyników oceny możliwe jest opracowanie technologii, które będą spełniały wszelkie wymogi ochrony środowiska.

Literatura

- [1.] KOWALSKI, Z., KULCZYCKA, J. I., GÓRALCZAK M.: *Ekologiczna Ocena Cyklu Życia Procesów Wytwórczych*, Warszawa, 2001, PWN.
- [2.] FAVA J.: *A Technical Framework for Life-Cycle Assessment*, SETAC and SETAC Foundation for Environmental Education, Washington, 1991.
- [3.] LINDFORS L.G.: *Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment*, Copenhagen: Nordic Council of Minister, 1995.
- [4.] PRÉ Consultants; GOEDKOOOP M., DESCHRYVER, A. OELE M.: *Introduction to LCA with SimaPro 7*, 2008.
- [5.] PN-EN ISO 14040, *Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura*, PKN, Warszawa 2006.
- [6.] PN-EN ISO 14044, *Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne*, PKN, Warszawa 2006.
- [7.] ONISZK-POPLAWSKA, A., OWSIK, M., WIŚNIEWSKI, G.: *Produkcja i wykorzystanie biogazu rolniczego*, ECBrec, 2003.
- [8.] Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, *Biogaz – produkcja, wykorzystanie*.
- [9.] BIERNAT, K., *Współczesne uwarunkowania i technologie wytwarzania biogazu*, Miesięcznik Naukowo-Techniczny „Chemik, Nauka, Technika, Rynek” nr 7-8, lipiec/sierpień 2008 str.349-355.
- [10.] SAMSON-BRĘK, BIERNAT, K.: *Możliwości wykorzystania biogazu rolniczego do produkcji paliwa silnikowego*, Studia Ecologiae et Bioethicae nr 7/2009, Wyd. UKSW, Warszawa.
- [11.] PETERSSON, A., WELLINGER, A., JOONSON, O.: *Biogas upgrading to vehicle fuels standard and grid injection*, IEA Bioenergy, Szwecja, 2006.
- [12.] PETERSSON, A., WELLINGER, A.: *Biogas upgrading technologies – developments and innovations*, IEA Bioenergy, Szwecja, 2009.

- [13.]GOEDKOOOP, M., SPRIENSMA, R.: 2000, *The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Assessment*. Methodology report, PRé Consultants B.V., Netherlands.
- [14.]LCA 101: *Introduction to LCA*. U.S. Environmental Protection Agency and Science