

## ***Przykłady zastosowania LCA w zarządzaniu środowiskiem***

W odpowiedzi na wzrastające wymagania społeczeństwa oraz zaostrzone przepisy prawne wprowadzane są różnorodne rozwiązania mające na celu ochronę środowiska naturalnego. Jednym z przykładów skutecznej realizacji metod mających na celu ochronę środowiska jest coraz szersze stosowanie metody LCA - czyli ekologicznej oceny cyklu życia. Analizie z użyciem metody LCA mogą być poddawane zarówno produkty, procesy obejmujące pełny cykl życia czy wreszcie całe gałęzie przemysłu. Pierwsze przykłady analizy metodą LCA zostały dokonane dla przemysłu opakowań, kolejne – dla energetyki. Uwieńczeniem prac specjalistów nad zagadnieniem LCA było jej zaimplementowanie przez organizację tworzącą międzynarodowe standardy International Standard Organisation (ISO). Ze względu na rosnące znaczenie problematyki efektywnego wykorzystania energii, przedstawione zostaną przykłady zastosowania metody LCA dla różnych rodzajów energii.

### **Problematyka zarządzania środowiskiem**

Zarządzanie środowiskiem ma na celu ochronę zdrowia ludzkiego oraz ochronę różnych form życia i ich naturalnych miejsc zamieszkania<sup>1</sup>. Ze względu na złożoność problemów zarządzania środowiskiem ich rozwiązywanie zazwyczaj wymaga współdziałania zespołów interdyscyplinarnych. Specjaliści z różnych dziedzin współpracują ze sobą projektując i wdrażając procesy lub procedury pomagające rozwiązać lub zapobiec problemom dotyczącym środowiska. Wszystkie komponenty systemu – ekonomiczne, prawne, techniczne, dotyczące środowiska naturalnego – muszą być wzięte pod uwagę, aby stworzyć właściwe i skuteczne rozwiązanie problemu. Naukowcy i inżynierowie – skupieni na zastosowaniach nauki i technologii do zapobiegania szkodom środowiskowym - zbyt łatwo zapominają, że praktyka zarządzania środowiskiem i jego ochrony jest legitymowana przez społeczeństwo, które w większości nie ma wykształcenia technicznego i postrzega obowiązujące normy i przepisy prawne jako ochronę przed szkodami wyrządzanymi środowisku. W ramach zarządzania środowiskiem zidentyfikowane są następujące problemy<sup>2</sup>:

- szacowanie ryzyka narażenia zdrowia – skażenie wody pitnej, skażenia chemiczne itp.,
- zapobieganie zanieczyszczeniu,
- oszczędzanie energii,

---

<sup>1</sup> Darwin L. Sorensen, Environmental management – regulations, CRC Press LLC, 1998.

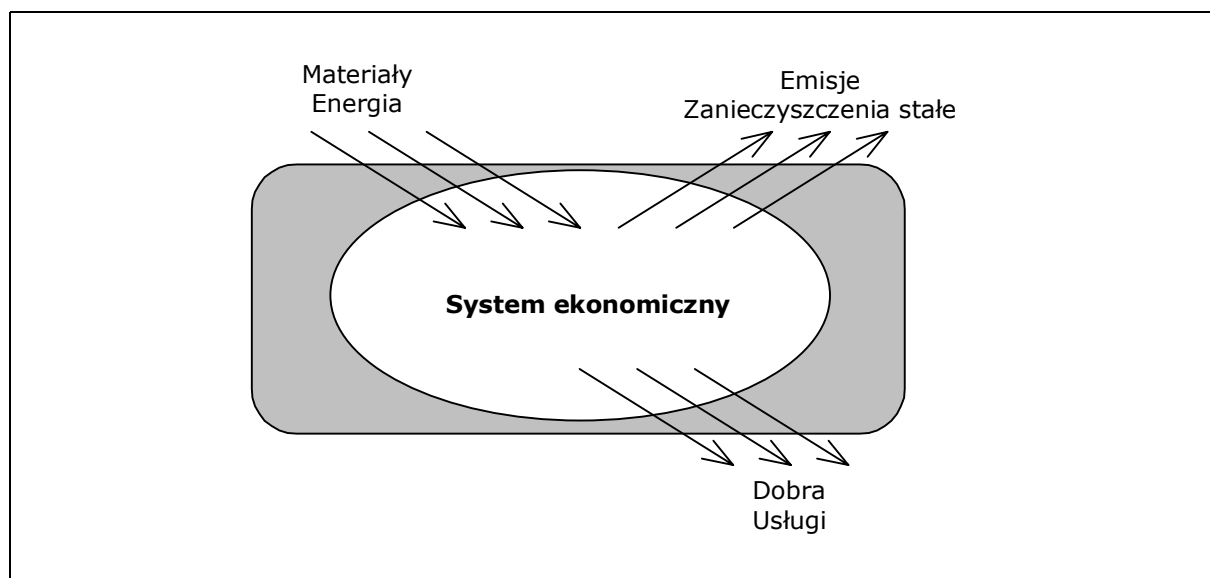
<sup>2</sup> R. Ryan Dupont, Environmental management – problems and solutions, CRC Press LLC, 1998

- jakość powietrza,
- jakość wody,
- zarządzanie odpadami,
- bezpieczeństwo i higiena pracy.

## Rola metody LCA w zarządzaniu środowiskiem

Na przykładzie energii pozyskiwanej z różnych źródeł omówiono problem zarządzania środowiskiem. Analiza problemu będzie przedstawiona jako badanie ekologicznego cyklu życia produktu (tu: energii), gdyż w tym przypadku metoda LCA stała się powszechnie akceptowanym narzędziem wsparcia dla nowoczesnego zarządzania środowiskiem.

### Rysunek 1. Wpływ systemu ekonomicznego na środowisko.

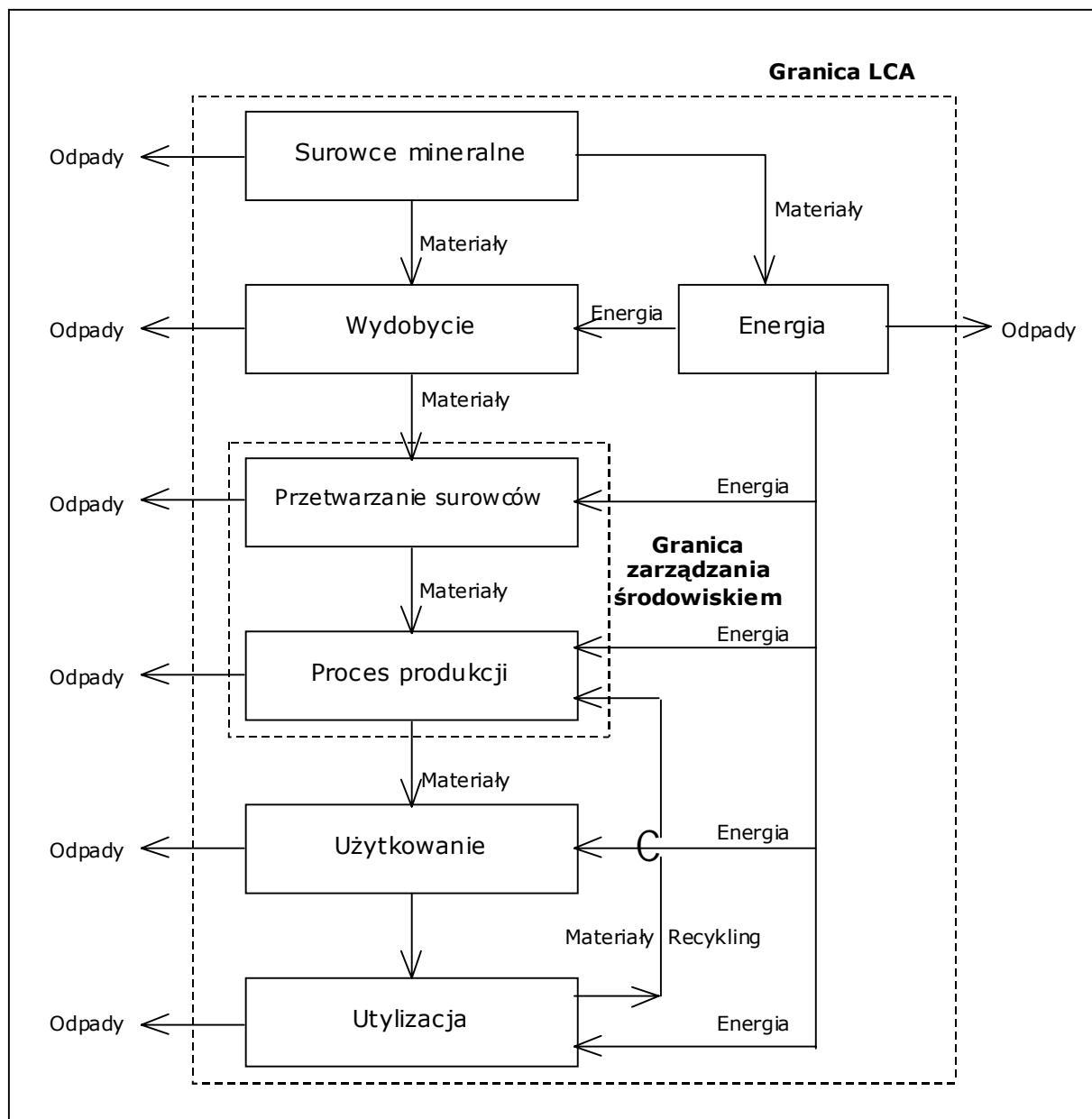


Źródło: Roland Clift, *Life cycle assessment*

Jako efekt funkcjonowania systemu ekonomicznego – przedstawionego na rysunku 1 – powstają różnorodne dobra i usługi. Aby ich wytworzenie przez system ekonomiczny było możliwe, potrzebne są pewne komponenty wejściowe to jest energia i materiały. Jednocześnie w efekcie produkcji generowane są emisje do powietrza, wody i gleby. Tak więc, w metodzie LCA, termin środowisko jest używany w sensie termodynamicznym, jako element otaczający system ekonomiczny poddany badaniom. Pojawia się zatem problem wyznaczenia granicy pomiędzy systemem i środowiskiem. W tej kwestii definicja LCA różni się od definicji dotychczasowych metod zarządzania środowiskiem. Zwyczajowe narzędzia zarządzania środowiskiem koncentrują się na procesie technologicznym lub konkretnym miejscu w całym systemie, np.: dotyczą procesu przetwarzania surowców. Natomiast zakres analizy metodą LCA obejmuje podejście „od narodzin do śmierci”, czyli od momentu wydobycia surowców

mineralnych aż do ostatecznej utylizacji produktu. Zasadnicze różnice między LCA i zarządzaniem środowiskiem są przedstawione na rysunku 2.

**Rysunek 2. Zakres metody LCA i zarządzania środowiskiem.**



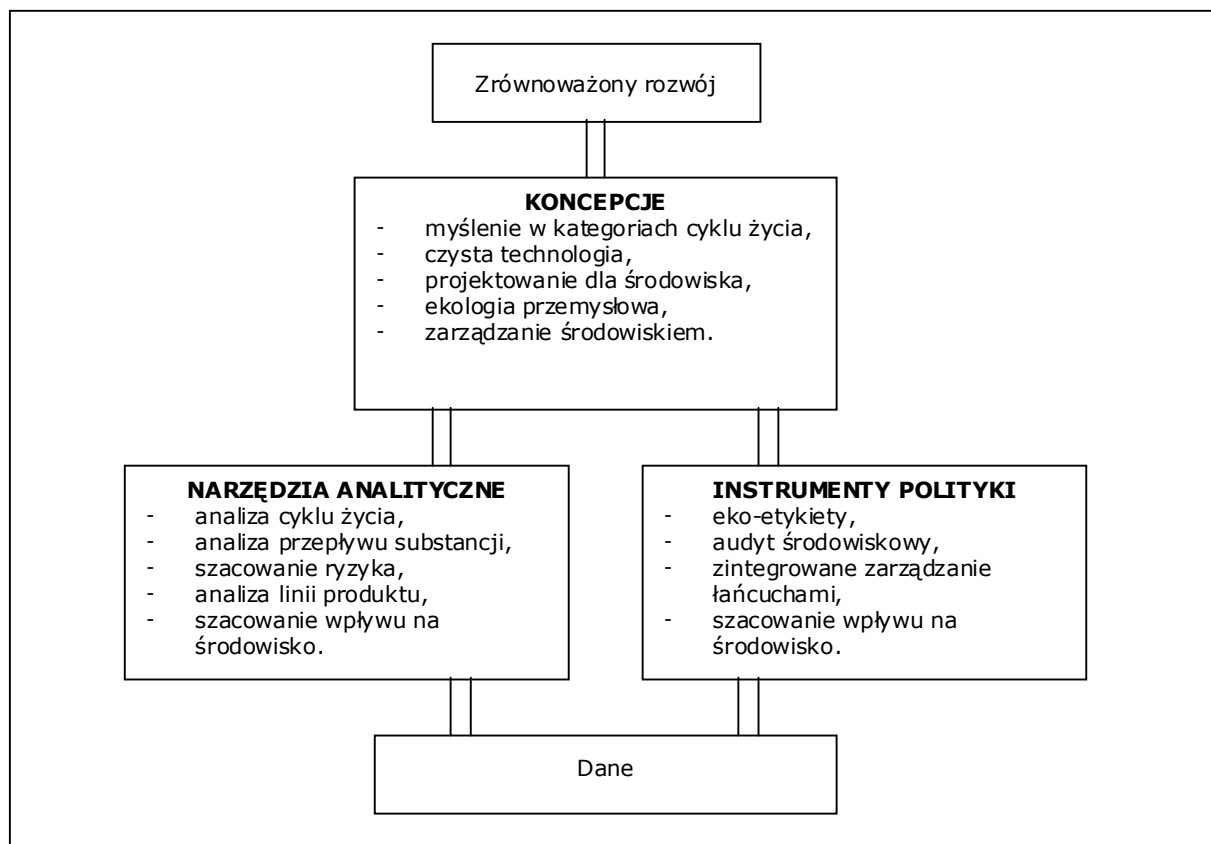
Źródło: Roland Clift, Life cycle assessment

Analiza metodą LCA, w przeciwieństwie do tradycyjnych metod zarządzania środowiskiem, pozwala na:

- porównanie alternatywnych produktów i technologii wytwarzania,
- identyfikację miejsc generujących największy wpływ na środowisko w całym cyklu życia,
- ustanawianie kryteriów dla eko-etykiet, w celu identyfikacji produktów najlepszych ekologicznie,

- porównanie alternatywnych sposobów utylizacji odpadów.

### Rysunek 3. Miejsce LCA i zarządzania środowiskiem w koncepcji zrównoważonego rozwoju.



Źródło: LCANET Board, Definition document, Leiden 1996

### Analiza ekologicznej oceny cyklu życia (metoda LCA)

Analiza metodą LCA nie jest jeszcze szeroko wykorzystywana w projektowaniu procesów technologicznych. Niemniej jednak jej rola w tym zakresie będzie rosła, gdyż zaletą LCA jest badanie całego problemu, a nie tylko jego części. W celu systematycznego objęcia całości zagadnienia analizę metodą LCA przeprowadza się w kilku etapach:

1. zdefiniowanie celu i zakresu badań,
2. analiza stanu posiadania (katalog materiałów, energii oraz emisji i odpadów),
3. szacowanie wpływu na środowisko,
4. interpretacja.

Pierwszy etap obejmuje przede wszystkim zdefiniowanie jednostki funkcjonalnej czyli usługi lub funkcji, według której oceniane będą alternatywne produkty lub systemy ekonomiczne<sup>3</sup>. Jednostka funkcjonalna to niekoniecznie ilość materiału, gdyż np.: alternatywne sposoby pakowania produktu powinny być porównywane na podstawie ilości

<sup>3</sup> Roland Clift, Life cycle assessment

zapakowanego towaru, a nie na podstawie ilości zużytego opakowania. Po zdefiniowaniu jednostki funkcjonalnej przychodzi kolej na wyznaczenie procesów jednostkowych, a wreszcie na określenie całego systemu. Ten etap jest często nazywany kwalifikacyjnym, gdyż należy ustalić, skąd pochodzą materiały i energia.

Drugi etap metody LCA polega na identyfikacji i obliczeniu elementów wchodzących do analizowanego systemu ze środowiska oraz elementów wychodzących z tego systemu do środowiska. W efekcie otrzymuje się katalog wszystkich wykorzystywanych materiałów i energii oraz wszystkich generowanych emisji i odpadów. Elementy, które należy uwzględnić w katalogu przedstawione są na rysunku 2.

Ze względu na fakt, że dane otrzymane podczas ustalania stanu posiadania (tworzenia katalogu) są bardzo szczegółowe, konieczne jest ich zredukowanie do postaci bardziej zrozumiałej. Dokonuje się tego poprzez zdefiniowanie kategorii wpływu na środowisko, a następnie szacowanie, w jakim stopniu poszczególne elementy tworzące katalog wpływają na środowisko.

**Tabela 1. Kategorie wpływu na środowisko.**

Lp.	Kategoria	Opis
1.	Zubożenie abiotyczne	wydobycie nieodnawialnych rud surowców mineralnych
2.	Zubożenie energii	wydobycie nieodnawialnych nośników energii – kategoria ta może być zawarta w kategorii 1.
3.	Efekt cieplarniany	atmosferyczna absorpcja promieniowania prowadząca do wzrostu globalnej temperatury
4.	Dziura ozonowa	zwiększenie promieniowania ultrafioletowego docierającego na powierzchnię Ziemi spowodowaneubożeniem warstwy ozonowej
5.	Skażenie wody i gleby	Narażenie flory i fauny na działanie substancji toksycznych
6.	Zakwaszenie	Zwiększenie kwasowości wody i gleby
7.	Skażenie ludzi	Narażenie zdrowia ludzkiego na substancje toksyczne znajdujące się w wodzie, powietrzu i glebie, głównie za pośrednictwem żywności
8.	Tworzenie utleniaczy fotochemicznych	Tworzenie się cząstek atmosferycznych powodujących fotochemiczny smog
9.	Eutrofizacja	Zmniejszenie ilości tlenu w wodzie lub glebie poprzez emisję substancji powodujących zwiększenie produkcji biomasy

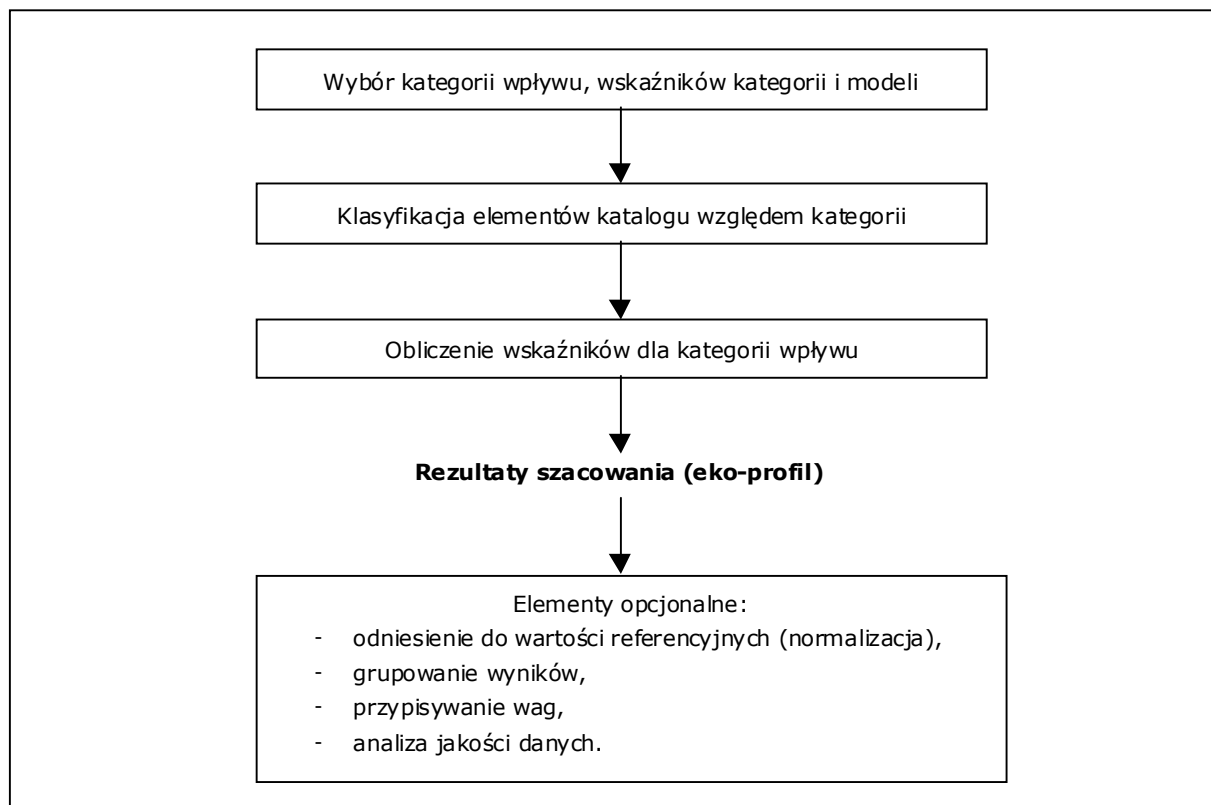
*Źródło: Roland Clift, Life cycle assessment*

Wpływ poszczególnych typów emisji w ramach danej kategorii jest wyrażony jako czynnik mocy wpływu. Jeden typ emisji może kwalifikować się do wielu kategorii, np.: emisja freonu będzie wpływać zarówno na efekt cieplarniany, jak i na dziurę ozonową. Skutkiem tego jest otrzymanie szeregu wartości mocy wpływu opisujących całkowity wpływ systemu na środowisko w każdej z kategorii wpływu. Wszystkie procesy i materiały

powiązane z daną kategorią wpływu to jej mechanizm środowiskowy<sup>4</sup>. Mechanizm środowiskowy składa się z :

- katalogu procesów i materiałów,
- zmiennych pośrednich,
- poziomu szkód,
- zakresu ochrony.

#### Rysunek 4. Elementy szacowania wpływu na środowisko.



*Źródło: WIA-2, Best available practice regarding impact categories and category indicators in LCA*

W ramach mechanizmu środowiskowego zdefiniowane są wskaźniki kategorii – ilościowy wyznacznik kategorii wpływu<sup>5</sup>. Wskaźniki kategorii określają zagregowany wpływ na środowisko danej kategorii wpływu. Mogą one być definiowane na każdym poziomie mechanizmu środowiskowego. Idea tworzenia wskaźników przedstawiona jest na rysunku 4. Punktem wyjścia jest uprzednio przygotowany katalog materiałów i energii oraz emisji i odpadów. Poszczególne elementy tego katalogu są następnie przypisywane do poszczególnych kategorii wpływu, po czym – zgodnie z przyjętym modelem – określa się wskaźniki kategorii, co w efekcie pozwala na określenie poziomu szkód wyrządzanych przez poszczególne elementy katalogu.

<sup>4</sup> Według terminologii ISO

<sup>5</sup> Według terminologii ISO

Po uzyskaniu oceny całkowitego wpływu na środowisko przeprowadzany jest ostatni etap analizy metodą LCA czyli interpretacja danych otrzymanych w efekcie prac podczas etapów poprzedzających. Zestaw takich danych nosi nazwę eko-profilu. Przy interpretacji danych pojawia się problem związany z nieporównywalnością pewnych kategorii np.: czy efekt cieplarniany jest ważniejszy od zakwaszenia. W celu rozwiązania tego problemu stosowane są dwa podejścia. Pierwsze polega na przypisaniu wag poszczególnym kategoriom wpływu reprezentujących względne znaczenie danego czynnika. Eko-profil może wtedy być zredukowany do pojedynczej liczby wyrażającej całkowity wpływ na środowisko. Zwolennicy drugiego podejścia uważają, że różne kategorie wpływu nie dają się sprowadzić do wspólnego mianownika. Zgodnie z tym poglądem podejmowanie decyzji związanych ze środowiskiem polega na znalezieniu kompromisu pomiędzy różnymi kategoriami wpływu na środowisko.

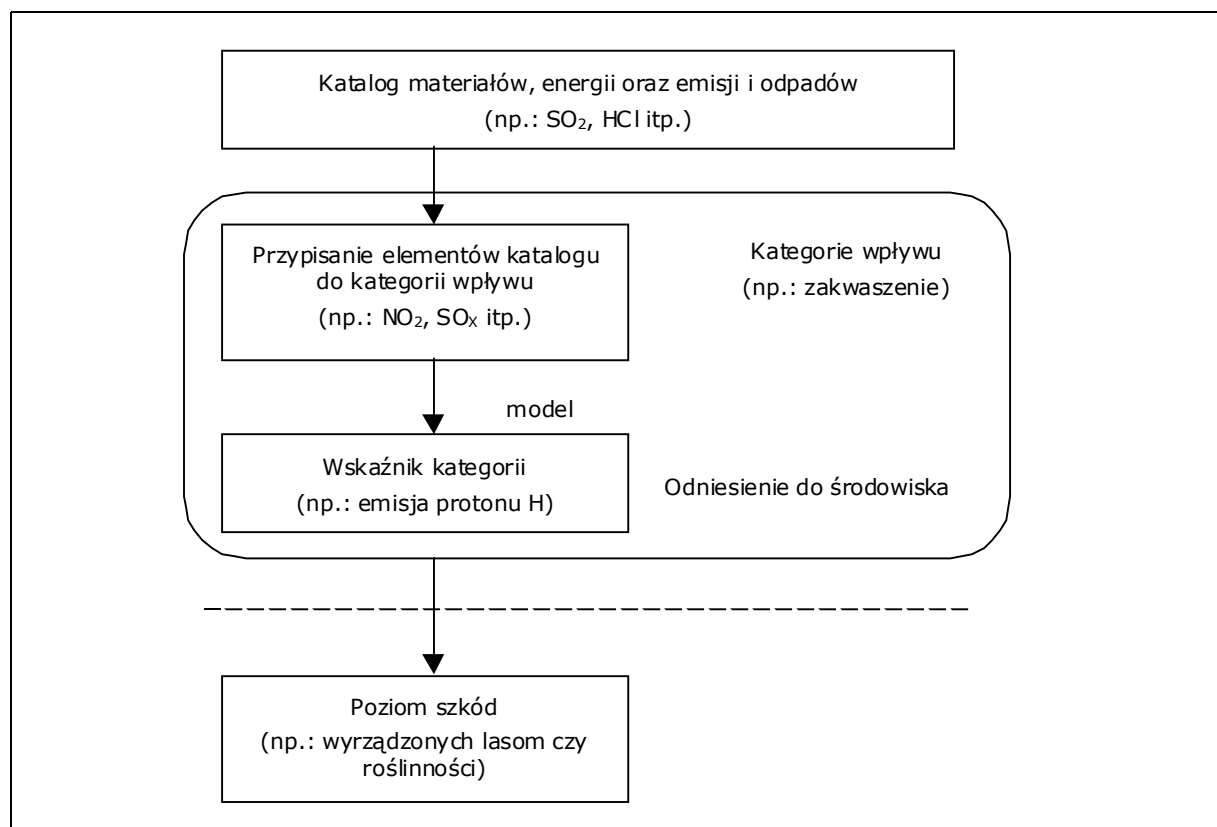
## **Przykład analizy metodą LCA**

Dane w przykładzie pochodzą z - przeprowadzonych w krajach europejskich - szczegółowych badań dotyczących wykorzystania różnych źródeł energii. Badania dotyczyły wpływu na środowisko wywieranego przez energię pochodzącą z różnych źródeł:

- energia cieplna (1 GJ),
- transport (1 osoba/km),
- energia elektryczna (1 GJ),
- system mieszany – energia cieplna i elektryczna.

W przykładzie pokazana będzie analiza porównawcza pomiędzy dwoma rodzajami energii cieplnej dostarczanej gospodarstwom domowym. Analiza nie będzie dotyczyć wszystkich kategorii wpływu, a jedynie tych, które mają największe znaczenie dla procesu produkcji energii czyli zużycie zasobów, efekt cieplarniany, zakwaszenie i eutrofizacja. W tabeli 2 znajduje się wyszczególnienie sposobu pomiaru poszczególnych kategorii, zasięgu geograficznego oraz efektu powodowanego w środowisku naturalnym.

**Rysunek 5. Idea wskaźników.**



Źródło: WIA-2, Best available practice regarding impact categories and category indicators in LCA

**Tabela 2. Kategorie wpływu na środowisko.**

Kategoria	Sposób pomiaru	Zasięg geograficzny	Efekt
Zubażanie zasobów	1/statyczny okres życia substancji (w latach)	globalny	Zubożanie nieodnawialnych zasobów
Efekt cieplarniany	1 kg CO <sub>2</sub>	globalny	Wpływ na globalny klimat
Zakwaszenie	1 kg SO <sub>2</sub>	regionalny	Niszczenie lasów, kwaśne deszcze
Eutrofizacja	1 kg PO <sub>4</sub>	globalny	Nadmierny wzrost alg w wodnych ekosystemach

Źródło: Peter Michaelis, Life cycle assessment of energy systems, University of Surrey 1998.

Efekty oddziaływania na środowisko są szacowane przy użyciu analizy metodą LCA zawierającej wszystkie fazy dostarczania konkretnej usługi. Wpływ poszczególnych elementów katalogu na każdą z kategorii wpływu jest obliczany za pomocą odpowiednich mnożników. Stąd emisja CO<sub>2</sub> wpływa w pewnym stopniu na efekt cieplarniany, natomiast emisja freonu kwalifikuje się zarówno do efektu cieplarnianego, jak i do efektu dziury ozonowej. Emisje SO<sub>2</sub> oraz NO<sub>x</sub> kwalifikują się do kategorii zakwaszenia. W każdym

przypadku opisany wpływ na środowisko jest równy maksymalnemu możliwemu wpływowi wywieranemu przez określony czynnik.

**Tabela 3. Mnożniki do konwersji danych katalogowych.**

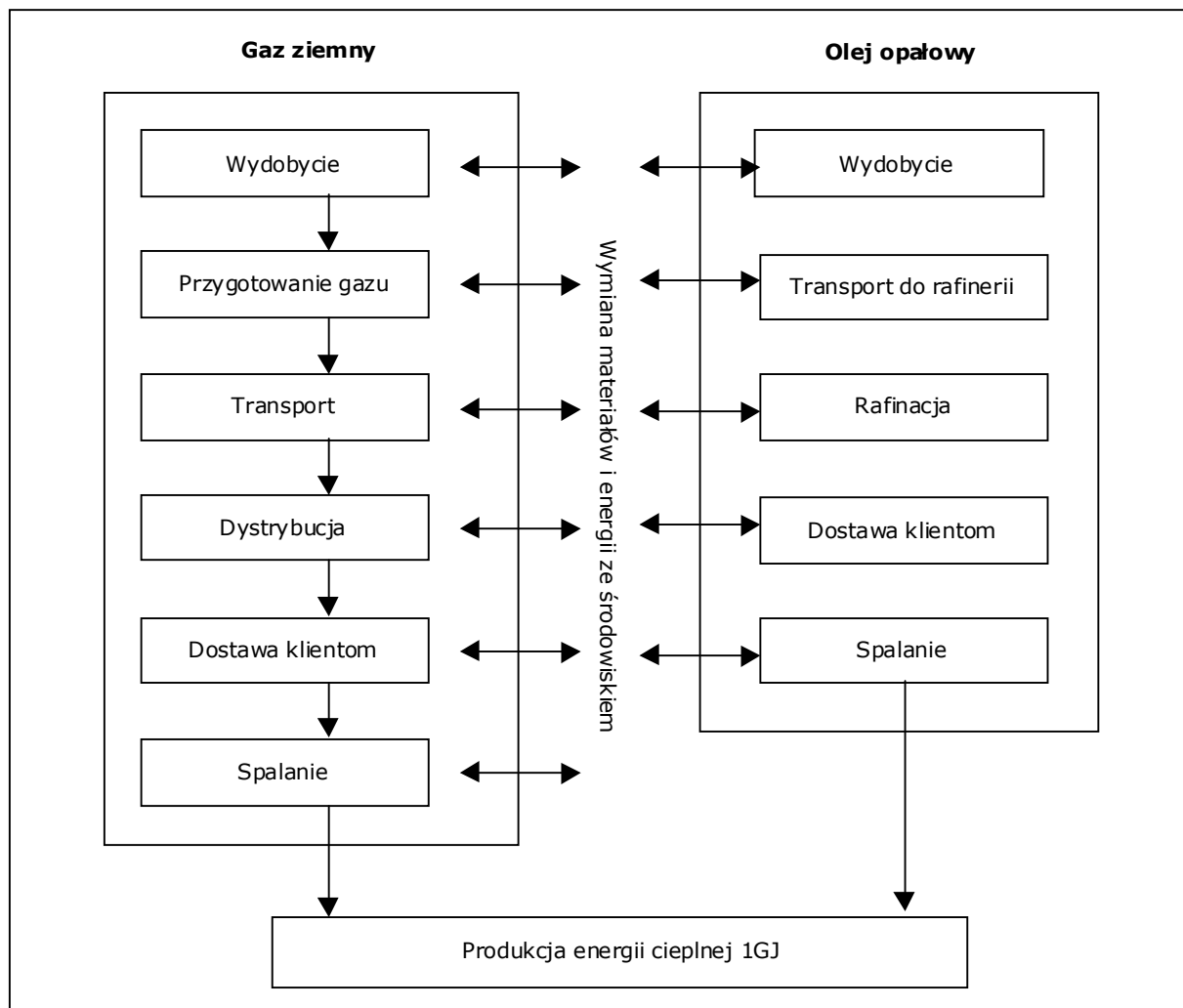
Substancja	Zubożenie zasobów	Emisja gazów powodująca efekt cieplarniany	Zakwaszenie	Eutrofizacja
Jednostki	Masa/rok	Równowartość 1 kg CO <sub>2</sub>	Równowartość 1 kg SO <sub>2</sub>	Równowartość 1 kg fosfatów
Ropa naftowa	1/40			
Węgiel	1/390			
Gaz ziemny	1/60			
Uran	1/58			
CO <sub>2</sub>		1		
CH <sub>4</sub>		62		
N <sub>2</sub> O		270		
SO <sub>2</sub>			1	
NO <sub>x</sub>			0,7	0,13
HCl			0,88	
NH <sub>3</sub>			1,88	

*Źródło: Peter Michaelis, Life cycle assessment of energy systems*

Metoda LCA obejmuje wybrane kategorie wpływu, niemniej jednak istnieją pewne ważne czynniki wpływu na środowisko, które nie mogą być przez nią uchwycone.

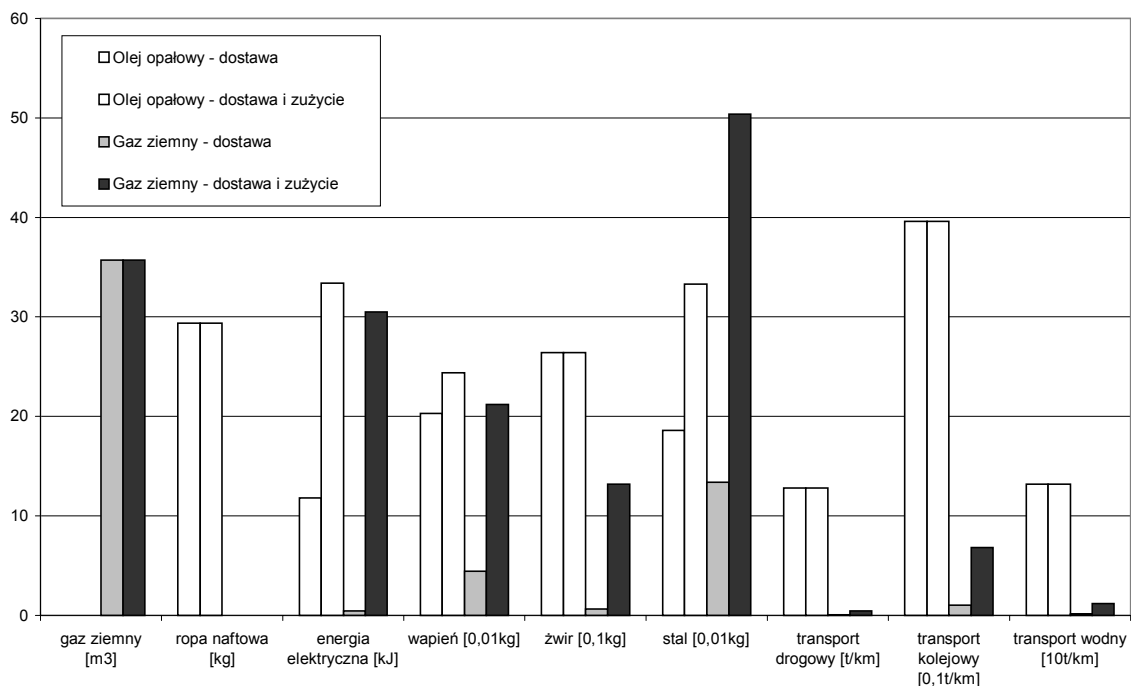
Analiza porównawcza dotyczyć będzie ekologicznych cykli życia paliw otrzymywanych z ropy naftowej i gazu ziemnego. Użyta jednostka funkcjonalna to dostarczenie 1 GJ energii cieplnej gospodarstwom domowym. Porównanie dotyczyć będzie zarówno dostawy obu typów paliwa, jak i pełnego cyklu życia, to jest dostawy i zamiany na energię cieplną.

**Rysunek 6. Proces produkcji energii cieplnej z gazu ziemnego i oleju opałowego.**



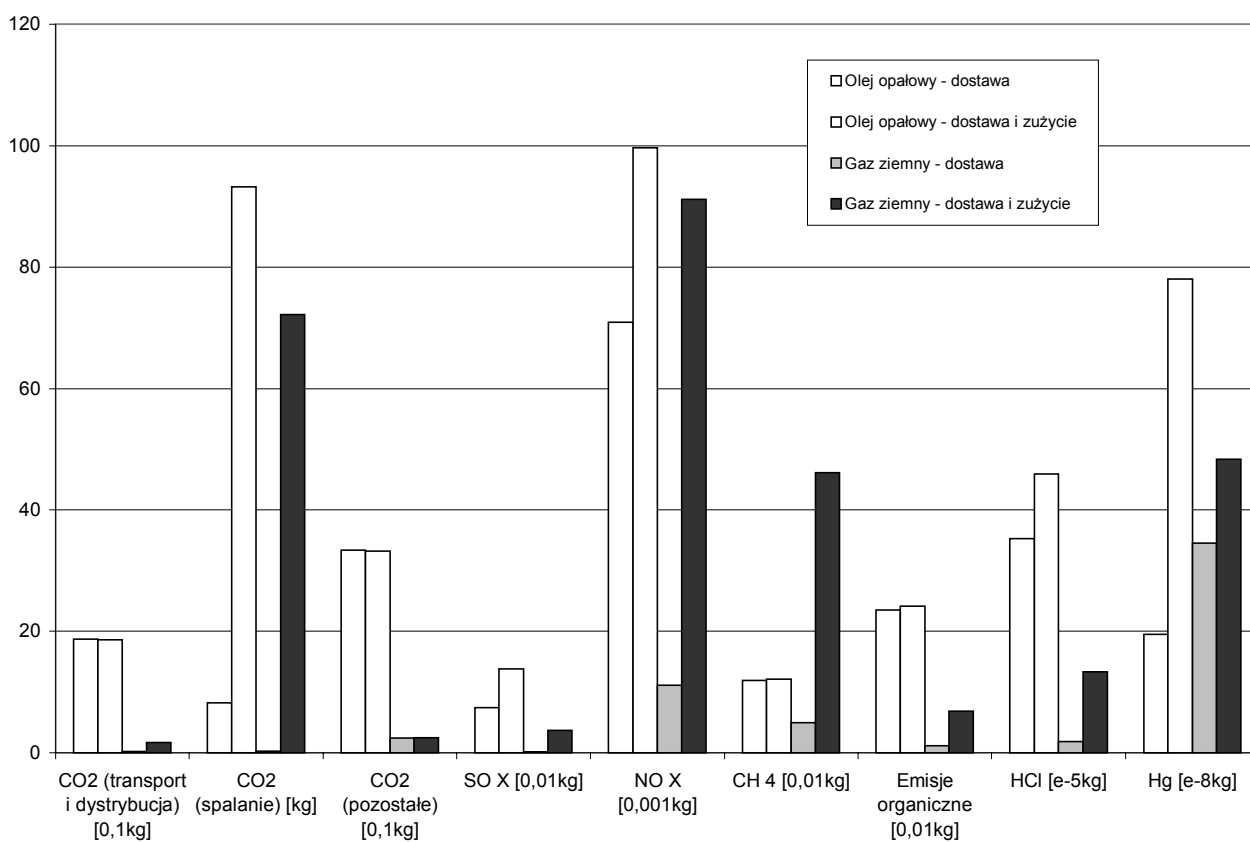
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Peter Michaelis, *Life cycle assessment of energy systems*, University of Surrey 1998.

**Rysunek 7. Dostawa i zużycie paliw – zasoby, materiały i transport / 1GJ energii cieplnej.**



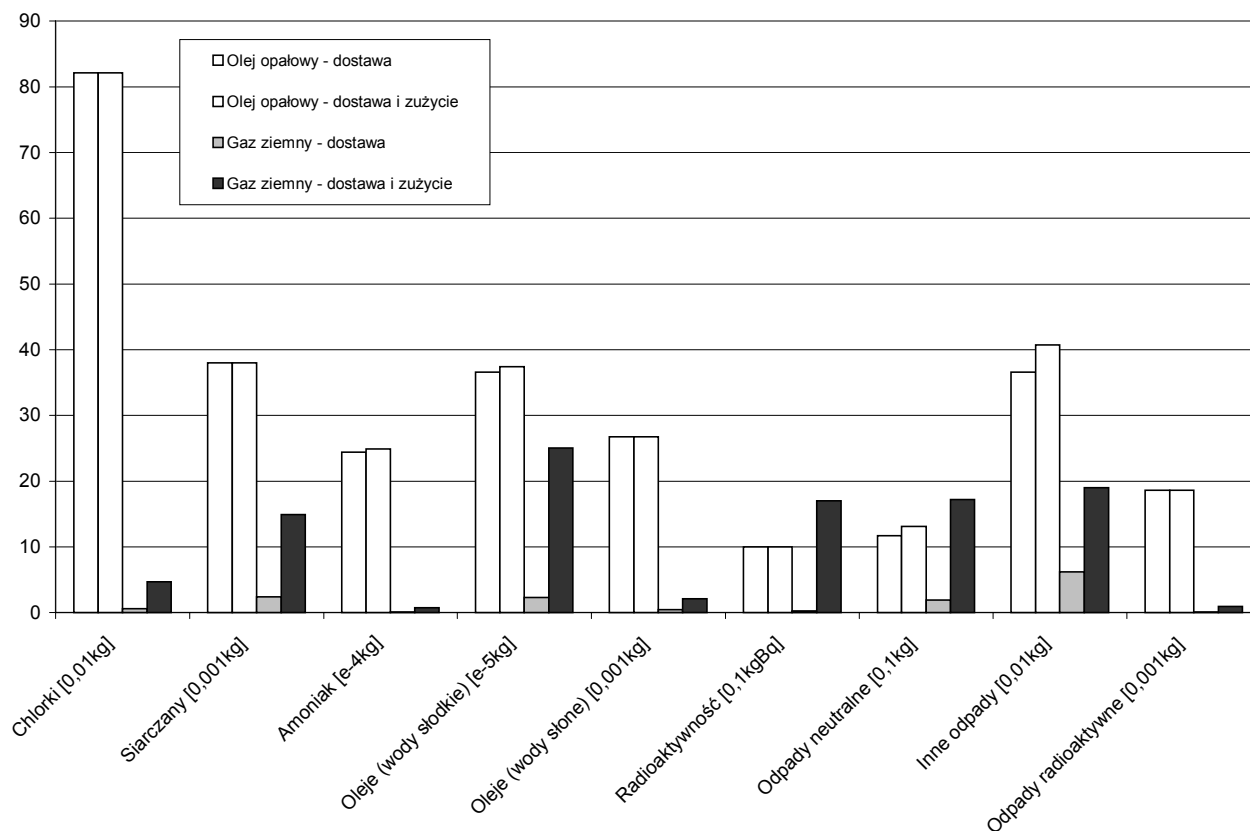
Źródło: Peter Michaelis, *Life cycle assessment of energy systems*, University of Surrey 1998.

**Rysunek 8. Dostawa i zużycie paliw - emisje do powietrza / 1 GJ energii cieplnej.**



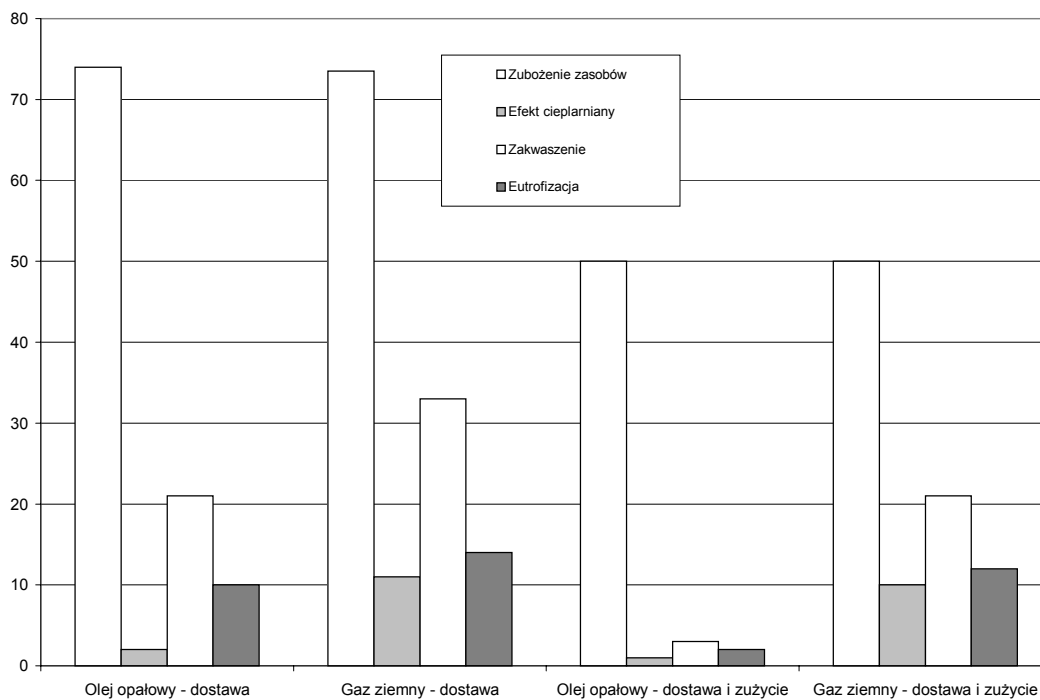
Źródło: Peter Michaelis, *Life cycle assessment of energy systems*, University of Surrey 1998.

**Rysunek 9. Dostawa i zużycie paliw – emisje do wody i odpady / 1GJ energii cieplnej.**



Źródło: Peter Michaelis, *Life cycle assessment of energy systems*, University of Surrey 1998.

**Rysunek 10. Całkowity wpływ na środowisko dostaw i zużycia paliw.**



Źródło: Peter Michaelis, *Life cycle assessment of energy systems*, University of Surrey 1998.

Energia jest podstawowym elementem w każdym aspekcie życia. Stąd pojawia się zagadnienie efektywnego gospodarowania dostępnymi zasobami oraz minimalizowania wpływu na środowisko wywołanego przez konsumpcję tych zasobów.

Metoda LCA, ze względu na swój kompleksowy charakter, pozwala na zdefiniowanie w jaki sposób efektywnie gospodarować zasobami zarówno pod względem ekologicznym, jak i ekonomicznym. Dlatego też stanowi potężne narzędzie w opracowywaniu sposobów redukcji konsumpcji surowców naturalnych i energii przy zachowaniu wystarczającej podaży dóbr i usług. Dodatkowo analiza metodą LCA dostarcza informacji pozwalających określić, czy dana technologia jest naprawdę bardziej czystsza ekologicznie niż alternatywne.

Przyszłe zastosowania LCA będą zintegrowane z innymi narzędziami wspomagającymi proces podejmowania decyzji wszędzie tam, gdzie kwestie ochrony środowiska są ważne. Dostępność i zakres informacji, które mogą być analizowane w LCA cały czas powiększa się, co daje możliwość rozszerzenia LCA na nowe produkty czy obszary zastosowań. Również wraz ze wzrostem ilości informacji analiza metodą LCA będzie mogła być przeprowadzana coraz bardziej precyzyjnie. Niemniej jednak, tylko w niewielu przypadkach analiza metodą LCA może zostać wykorzystana jako jedyny czynnik wspierający proces podejmowania decyzji. Analiza z wykorzystaniem metody LCA powinna być częścią rozwijania się koncepcji „rozszerzonej odpowiedzialności producenta”. Koncepcja ta może być wykorzystywana przez rządy państw jako strategia umożliwiająca przeniesienie kosztów zarządzania np.: odpadami miejskimi z gestii samorządów lokalnych do tych, którzy mają największy wpływ na charakterystykę produktu. Stosowanie metody LCA powinno powodować wprowadzenie rozwiązań optymalnych oraz eliminację rozwiązań nieoptymalnych. Potencjalny obszar dalszego rozwoju to integracja metody LCA i innych metod zarządzania środowiskiem. W koncepcji zarządzania środowiskiem brakuje uwzględnienia pośrednich aspektów środowiskowych, co może być uzupełnione przez analizę LCA. Jeśli metoda LCA ma się rozwijać jako narzędzie kwantyfikujące pośrednie i bezpośrednie aspekty środowiskowe i potencjalne wpływy wywierane przez cały okres życia produktu, to konieczne jest usystematyzowanie procesu zbierania danych. Istotną kwestią jest również opracowanie uzgodnionych metodologii i dostępności danych. Zarówno metodologie, jak i dane są coraz lepiej i dokładniej udokumentowane, co dowodzi, że wraz z rozwojem norm ISO dotyczących standardów LCA, przyszłe wykorzystanie metody LCA będzie jeszcze bardziej zadowalające niż wykazują dotychczasowe doświadczenia.