

Katarzyna Grzesik*

Wprowadzenie do oceny cyklu życia (LCA) - nowej techniki w ochronie środowiska

1. Wstęp

Obowiązująca strategia postępowania z odpadami zakłada ściśle określoną hierarchię działań w gospodarce odpadami, do których w pierwszej kolejności należy zapobieganie powstawaniu odpadów oraz minimalizacja ich ilości. Unikanie powstawania odpadów musi się odbywać już na etapie projektowania określonego wyrobu i procesu produkcyjnego. Należy oszacować ilość zużytych surowców mineralnych, materiałów, energii, ilość powstających odpadów w procesie produkcyjnym, a także przewidzieć sposób unieszkodliwienia produktu końcowego po jego zużyciu. Te wszystkie działania doprowadziły do rozwoju analizy wejść - wyjść, inaczej nazywanej analizą obiegu materiałowego, analizą profilu ekologicznego, ekobilansem, analizą „od kołyski po grób”. Na początku lat 90. ubiegłego wieku zaczęto stosować termin „ocena cyklu życia”. Technika ta umożliwia prześledzenie całego cyklu życia wyrobu, od jego powstania aż do ostatecznego unieszkodliwienia końcowego produktu, i wydaje się być naturalnym rozwinięciem zarówno strategii postępowania z odpadami, jak i systemu zarządzania środowiskowego.

Każdy produkt oddziałuje na środowisko, a cykl życia większości produktów jest długi i złożony. Dlatego celowe jest dążenie do zminimalizowania oddziaływania produktu na środowisko we wszystkich fazach cyklu jego życia, a zwłaszcza w fazach, w których to oddziaływanie jest największe, oraz podejmowanie działań w tym zakresie w możliwie najbardziej efektywny sposób. Takie podejście powinno prowadzić także do redukcji kosztów wytwarzania, użytkowania i pozbywania się produktów oraz poprawy konkurencyjności przedsiębiorstw. Te aspekty stanowią przedmiot strategii wdrażania zintegrowanej polityki produktowej w Polsce [1]. Celem zintegrowanej polityki produktowej jest m.in. wprowadzenie do systematycznego stosowania metod oceny cyklu życia produktu.

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

** Prace wykonane w ramach badań statutowych w AGH, nr umowy 11.11.150.171

2. Definicja, struktura i zadania LCA

W ocenie cyklu życia LCA (ang. *Life Cycle Assessment*) analizuje się zagrożenia środowiskowe związane z wyrobem w całym okresie jego życia, „od kołyski po grób”. Wyrobem w technice LCA może być zarówno konkretny przedmiot, jak i cały proces produkcji lub usługa.

LCA umożliwia ocenę aspektów i wpływów środowiskowych wynikających ze wszystkich etapów życia wyrobu, obejmujących:

- wydobywanie i przetwarzanie surowców mineralnych,
- wytwarzanie (proces produkcji),
- dystrybucję,
- transport,
- użytkowanie,
- powtórne użycie,
- recykling,
- ostateczne unieszkodliwianie odpadów.

Międzynarodowa Organizacja ds. Standaryzacji ISO (International Standard Organization) definiuje LCA jako technikę oceny aspektów środowiskowych i potencjalnych wpływów związanych z wyrobem, która obejmuje [2] cztery fazy:

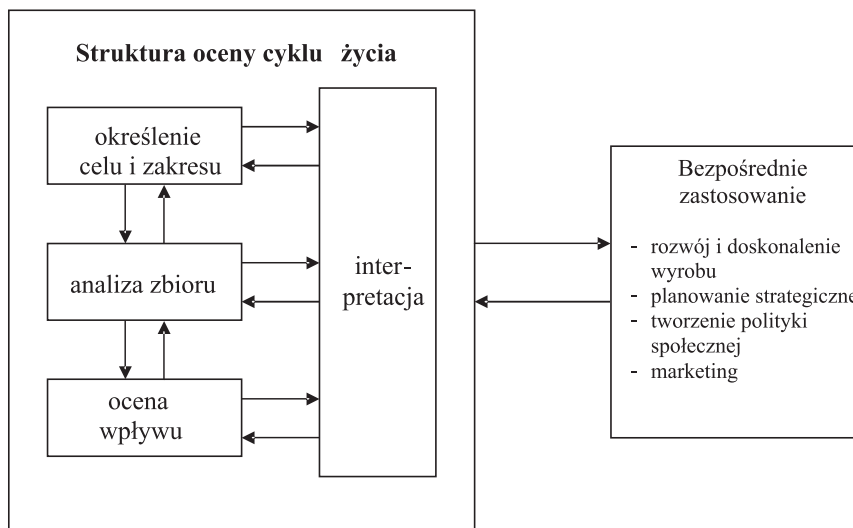
1. określenie celu i zakresu badań,
2. inwentaryzację zbioru istotnych wejść i wyjść w systemie wyrobu,
3. ocenę potencjalnych wpływów na środowisko związanych z wejściami i wyjściami systemu,
4. interpretację rezultatów analizy zbioru oraz faz oceny wpływu w odniesieniu do celów badań.

Wyszczególnione fazy techniki LCA przedstawiono na rysunku 1.

LCA dotyczy złożonych interakcji pomiędzy wyrobem (usługą) a środowiskiem, przy czym główne kategorie wpływu na środowisko wymagają rozważenia zdrowia ludzkiego, wykorzystania zasobów naturalnych oraz jakości ekosystemu.

Do podstawowych zadań LCA należy [3]:

- dokumentowanie potencjalnych wpływów wyrobu na środowisko podczas wszystkich etapów jego życia;
- analiza możliwości wystąpienia wzajemnie powiązanych wpływów środowiskowych, tak aby zastosowane środki zaradcze nie powodowały powstawania nowych problemów – unikanie transferu zanieczyszczeń;
- ustalenie priorytetów w doskonaleniu wyrobów;
- umożliwienie porównywania różnych rozwiązań takiego samego problemu lub różnych sposobów realizowania takiego samego procesu.



Rys. 1. Fazy oceny cyklu życia wraz z przykładami zastosowań [2]

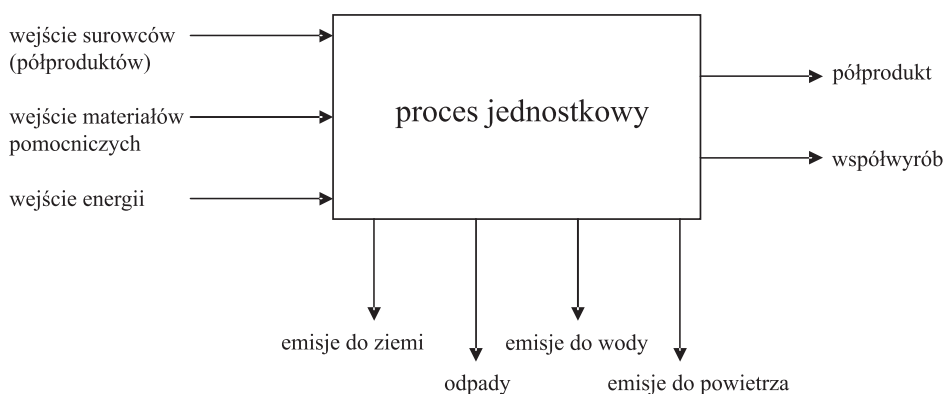
LCA ułatwia podjęcie decyzji i wskazanie produktu lub procesu, który w najmniejszym stopniu wpływa na środowisko. Taka informacja razem z innymi czynnikami, takimi jak koszt, dane dotyczące użytkowania, może być wykorzystana do wyboru produktu lub procesu. LCA dodatkowo identyfikuje transfer oddziaływania na środowisko z jednego komponentu środowiska na inny (np. eliminując emisję do powietrza, powoduje się wzrost ilości ścieków) lub z jednej fazy cyklu życia produktu na inną (np. z użycia i powtórnego użycia produktu na fazę pozyskania surowców do produkcji). W przypadku nieprzeprowadzenia analizy cyklu życia transfer oddziaływania na środowisko mógłby być niezauważony i niepodany analizie w odpowiedni sposób w procesie wyboru produktu.

3. Określenie celu i zakresu badań LCA

Cel prowadzenia badań LCA powinien jednoznacznie ustalać zamierzone zastosowanie wyników badań, powody prowadzenia badań oraz odbiorcę wyników badań. Cel badań determinuje szczegółowość, wnikliwość i zakres badań oraz rodzaje danych potrzebnych do oceny cyklu życia. LCA jest narzędziem do oceny całościowego wpływu wyrobu na środowisko („od kołyski po grób”), a zasadniczym celem jest wytypowanie najlepszego produktu, procesu lub usługi o najmniej szkodliwym oddziaływaniu na zdrowie ludzkie i środowisko. Oprócz głównego celu badań LCA mogą istnieć także inne, np.: rozwój i doskonalenie wyrobu, zapobieganie zanieczyszczeniom, ocena i doskonalenie programów środowiskowych,

etykietowanie środowiskowe, opracowanie strategii rynkowych, ocena znaczących aspektów środowiskowych.

W ramach zakresu badań LCA definiuje się granice badań, założenia i ograniczenia. Na tym etapie LCA bardzo ważne jest określenie systemu wyrobu, który będzie przedmiotem badań, i funkcji wyrobu oraz jednostki funkcjonalnej. Określenie systemu wyrobu jest to ustalenie wszystkich operacji związanych z wyrobem – zbiór materiałowo i energetycznie połączonych ze sobą procesów jednostkowych. Proces jednostkowy jest to najmniejsza część systemu wyrobu, dla której gromadzone są dane. Podział systemu wyrobu na składowe procesy jednostkowe ułatwia identyfikację wejść i wyjść systemu wyrobu. Granice procesu jednostkowego są określone przez poziom szczegółowości modelowania systemu wyrobu, wymagany do osiągnięcia celu badania. System wyrobu jest systemem fizycznym, dlatego każdy proces jednostkowy podlega prawu zachowania masy. Z tego powodu bilans masy jest użytecznym sprawdzianem poprawności opisu procesu jednostkowego [4, 5]. Przykład opisu procesu jednostkowego podano na rysunku 2.



Rys. 2. Przykład opisu procesu jednostkowego [3]

Jednostka funkcjonalna określa ilościowo zidentyfikowane funkcje. Jej zadaniem jest zapewnienie odniesienia dla normowania danych wejściowych i wyjściowych systemu. W przypadku przeprowadzania LCA dla porównania dwóch wyrobów lub procesów konieczne jest przyjęcie takich samych jednostek funkcjonalnych dla obu produktów lub procesów. Po zdefiniowaniu jednostki funkcjonalnej należy określić ilość wyrobu niezbędną do wykonania funkcji, czyli strumień odniesienia [3].

Wymienione wyżej pojęcia można wyjaśnić na przykładzie suszenia rąk. Badaniu podlegają dwa systemy wyrobu: system ręczników papierowych i system suszarki elektrycznej. Jako funkcję wyrobu można zdefiniować suszenie dłoni. Jed-

nostka funkcjonalna może być wyrażona jako liczba par dłoni wysuszona w obu systemach, np. 100. Jako cechy funkcjonalne wyrobu można przyjąć dwa ręczniki na wysuszenie pary dłoni i określoną ilość ciepłego powietrza potrzebną do wysuszenia pary dłoni. Strumieniem odniesienia będzie 200 ręczników papierowych i sumaryczna ilość ciepłego powietrza potrzebna do wysuszenia 100 par dłoni, odniesiona do ilości energii pobranej przez suszarkę.

Kolejnym krokiem w określeniu zakresu badań LCA jest ustalenie granic systemu, które determinują, które procesy jednostkowe powinny być włączone do badań LCA. Zależać to będzie od dostępu danych, szczególnie tych, na które producent wyrobu nie ma bezpośredniego wpływu. System wyrobu mógłby być bardzo obszerny, dlatego należy przyjąć zasady o sposobie decydowania, od jakiego punktu będą pomijane strumienie.

Norma ISO 14041 zaleca, aby w ustalaniu granic systemu wziąć pod uwagę kilka etapów cyklu życia, procesów jednostkowych i strumieni [5]:

- wejść i wyjść w podstawowym cyklu wytwarzania lub przetwarzania;
- dystrybucji transportu;
- produkcji i wykorzystania paliw energii elektrycznej i ciepła;
- użytkowania i obsługiwanie wyrobów;
- usuwania powstających w procesie odpadów i produktów ubocznych;
- odzyskiwania wykorzystywanych wyrobów (w tym ponownego użycia, recyklingu, odzysku energii);
- wytwarzania materiałów pomocniczych;
- wytwarzania, obsługiwanie i wyłączenia z eksploatacji wyposażenia podstawowego;
- operacji dodatkowych, takich jak oświetlenie i ogrzewanie.

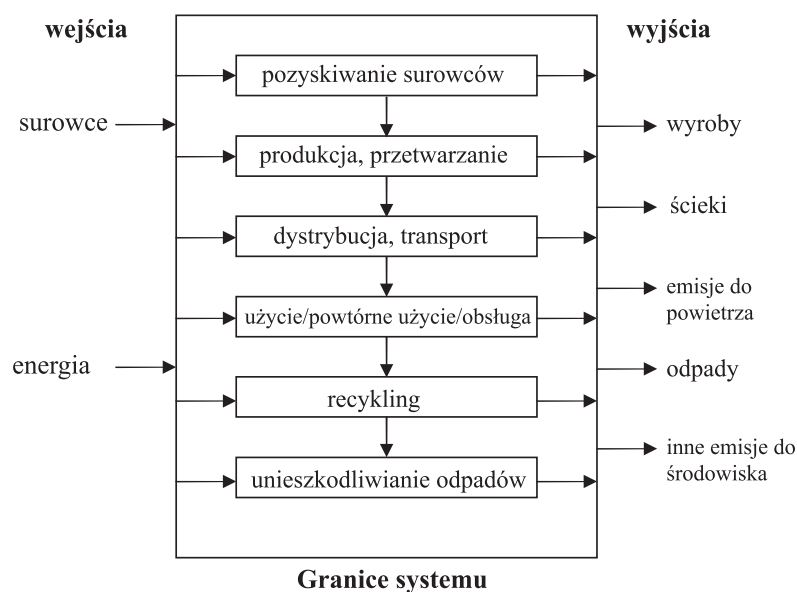
Ułatwieniem jest sporządzenie opisu systemu w postaci diagramu strumieni procesów jednostkowych i związków między nimi. LCA jest techniką iteracyjną, dlatego początkowo określone granice systemu mogą ulec zmianie w trakcie wykonywania badania.

4. Analiza zbioru w badaniu cyklu życia

Analiza zbioru w cyklu życia LCI (ang. *Life Cycle Inventory*) obejmuje zbieranie danych i procedury obliczeniowe, ilościowo określa wejścia i wyjścia dla danego systemu wyrobu w okresie jego cyklu życia.

Zebranie danych odbywa się w celu sporządzenia obszernego bilansu wszystkich elementów energetycznych i chemicznych pobieranych ze środowiska, tych, które wchodzi do systemu i które opuszczają system jako emisje do środowiska. Procedury obliczeniowe przygotowuje się do oceny ilościowej wszystkich wcho-

dzących i wychodzących strumieni na granicach systemu – wejść i wyjść. Wejścia i wyjścia mogą obejmować wykorzystanie zasobów naturalnych oraz emisje do powietrza wody i ziemi, które występują podczas całego cyklu życia wyrobu [3]. Przykładowe granice systemu oraz wejścia i wyjścia przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Model analizy zbioru [3]

Zbieranie danych obejmuje wiele miejsc i materiałów źródłowych, dlatego w normie ISO 14041 zaproponowano pewne kroki pomocne we właściwym ustaleniu systemu wyrobu. Należy do nich [5]:

- sporządzenie szczegółowych diagramów przepływu procesów, uwzględniające wszystkie procesy jednostkowe i relacje między nimi;
- sporządzenie szczegółowego opisu każdego procesu jednostkowego oraz wykazu kategorii danych związanych z każdym procesem;
- opracowanie wykazu zawierającego jednostki pomiarowe;
- sporządzenie opisu metod zbierania danych i metod obliczeń w odniesieniu do każdej kategorii danych;
- przygotowanie instrukcji dotyczących miejsc zbierania danych.

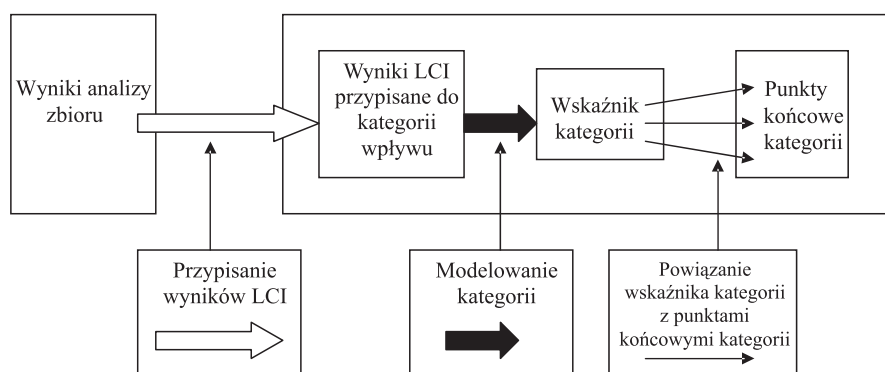
Zbieranie danych wymaga dobrej znajomości każdego procesu jednostkowego. Aby uniknąć wielokrotnego uwzględniania lub pomijania danych, należy sporządzić opis procesu jednostkowego. Opis ten powinien obejmować ilościową i jakościową charakterystykę wejść i wyjść, które są konieczne do ustalenia początku i końca procesu jednostkowego oraz funkcji tego procesu.

Analiza zbioru jest zbilansowaniem tego, co do systemu wchodzi, i tego, co opuszcza system. Dane z analizy zbioru stanowią podstawę do następnego etapu oceny cyklu życia – oceny wpływu.

5. Ocena wpływu cyklu życia

Ocena wpływu cyklu życia LCIA (ang. *Life Cycle Impact Assessment*) jest ukierunkowana na zrozumienie i ocenę wielkości oraz znaczenia potencjalnego wpływu systemu wyrobu na środowisko. Należy przy tym wziąć pod uwagę skutki ekologiczne, wpływ na zdrowie człowieka oraz zubożenie zasobów naturalnych. W ocenie wpływu wykorzystuje się modelowanie kwestii środowiskowych, nazywanych kategoriami wpływu, oraz stosowanie wskaźników kategorii środowiskowych. Proces LCIA polega na przyporządkowaniu danych zbioru do specyficznych wpływów na środowisko [3, 4].

Ocena wpływu LCIA przypisuje wyniki analizy zbioru LCI do kategorii wpływu. Dla każdej kategorii wpływu wybierany jest wskaźnik kategorii i obliczana jest wartość wskaźnika kategorii. Zbiór wartości wskaźnika tworzy profil LCIA, dostarcza informacji o kwestiach środowiskowych związanych z wejściami i wyjściami systemu wyrobu. Na rysunku 4 przedstawiono przypisanie wyników analizy zbioru do kategorii wpływu, przekształcanie i agregację wskaźników kategorii przy wykorzystaniu modelu charakteryzowania i związane z nimi punkty końcowe kategorii.



Rys. 4. Koncepcja LCIA [3]

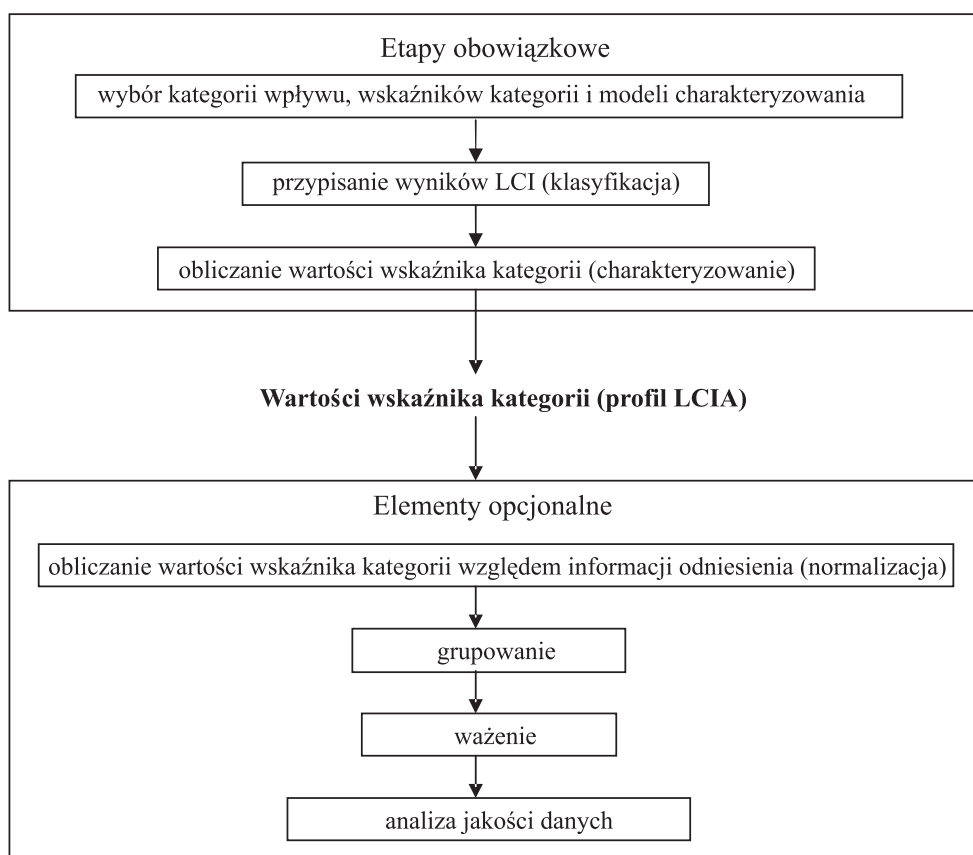
LCIA składa się z kilku etapów, zarówno obowiązkowych, jak i opcjonalnych. Do elementów obowiązkowych zalicza się [6]:

- wybór kategorii wpływu, wskaźników kategorii i modeli charakteryzowania;
- przypisanie wyników LCI – klasyfikacja;
- obliczenie wskaźnika kategorii – charakteryzowanie.

W LCIA mogą być również uwzględnione elementy opcjonalne, do których należy

- obliczanie wartości wskaźnika kategorii względem informacji odniesienia,
- grupowanie,
- ważenie,
- analiza jakości danych.

Na rysunku 5 przedstawiono etapy oceny wpływu cyklu życia.



Rys. 5. Etapy oceny wpływu cyklu życia [6]

Pierwszym etapem LCIA jest wybór kategorii wpływu; w LCIA wpływy są definiowane jako konsekwencje powodowane przez strumienie wejść i wyjść systemu. Typowe potencjalne wpływy w LCIA obejmują trzy kategorie: zdrowie ludzkie, ekosystem i zubożenie zasobów naturalnych. W tabeli 1 zestawiono przykłady często stosowanych w LCIA kategorii wpływów.

Tabela 1. Przykłady kategorii wpływu w LCIA [4]

Kategoria wpływu	Skala oddziaływania	Odpowiednie dane LCI (klasyfikacja)	Wskaźnik kategorii	Opis wskaźnika kategorii
Globalne ocieplenie	globalna	dwutlenek węgla (CO ₂) dwutlenek azotu (NO ₂) metan (CH ₄) freony (CFC, HCFC) bromek metylu (CH ₃ Br)	potencjał globalnego ocieplenia	przeliczenie danych LCI na ekwiwalent dwutlenku węgla (CO ₂)
Zubożenie warstwy ozonowej	globalna	freony (CFC, HCFC) halony bromek metylu (CH ₃ Br)	potencjał zubożenia warstwy ozonowej	przeliczenie danych LCI na ekwiwalent trójchlorofluorometanu CFC-11
Zakwaszenie	regionalna lokalna	tlenki siarki (SO _x) tlenki azotu (NO _x) kwas solny (HCL) fluorowodór (HF) amoniak (NH ₄)	potencjał zakwaszenia	przeliczenie danych LCI na ekwiwalent jonów wodorowych H ⁺
Zubożenie zasobów naturalnych	globalna regionalna lokalna	ilość zużytych minerałów ilość zużytych paliw kopalnych	potencjał zubożenia zasobów naturalnych	przeliczenie danych LCI na stosunek ilości zużytych zasobów do ilości zasobów pozostawionych
Zużycie powierzchni terenu	regionalna lokalna	ilość deponowanych odpadów na składowisku	odpady	przeliczenie masy odpadów na objętość przy użyciu oszacowanej gęstości odpadów

Celem klasyfikacji jest zorganizowanie i przekształcenie wyników LCI w kategorie wpływów. Dla tych punktów LCI, które są właściwe tylko dla jednej kategorii, procedura klasyfikacji jest prostym przypisaniem. W przypadku kiedy punkt LCI odnosi się do dwóch lub więcej kategorii wpływów, muszą zostać ustalone jasne zasady przypisywania, które są potem przejrzysto udokumentowane.

Stosuje się dwa sposoby przypisywania wyników LCI do kategorii wpływu [4]:

- 1) przydzielenie reprezentatywnych porcji wyników LCI do kategorii wpływów, dla których są właściwe; taką zasadę stosuje się, kiedy efekty oddziaływań są zależne;
- 2) przypisanie wszystkich wyników LCI do wszystkich kategorii wpływów; taką zasadę stosuje się, kiedy efekty oddziaływań są niezależne.

Procedura przypisania musi być jasno udokumentowana.

Charakteryzowanie wpływu jest oparte na naukowych parametrach konwersji, nazywanych parametrami charakteryzowania, które zamieniają i łączą wyniki LCI w reprezentatywne wskaźniki kategorii wpływu. Parametry charakteryzowania są często nazywane współczynnikami ekwiwalentnymi. Parametry charakteryzowania przekształcają wyniki LCI we wskaźniki wpływu, które potem można porównywać.

Wskaźniki wpływu są zazwyczaj charakteryzowane za pomocą poniższego wzoru [4]

wyniki analizy zbioru \times parametr charakteryzacji = wskaźnik wpływu.

Normalizacja jest narzędziem w ocenie wpływu stosowanym do wyrażenia wskaźników charakteryzacji, w taki sposób, aby możliwe było porównywanie poszczególnych kategorii wpływu. Ta procedura ujednolica wskaźniki poprzez podzielenie przez wybraną wielkość wzorcową. Jest wiele metod wyboru wielkości wzorcowej, np.: całkowita emisja lub zużyte zasoby dla danej powierzchni, emisja całkowita dla danej powierzchni na osobę. Cel i zakres badania LCA mogą wpływać na wybór odpowiedniej wielkości wzorcowej.

Grupowanie przypisuje wskaźniki kategorii do jednej lub więcej grup w celu ułatwienia interpretacji wyników w poszczególnych obszarach zainteresowania. Grupowanie zazwyczaj obejmuje porządkowanie i sporządzanie rankingu wskaźników.

Grupowanie wskaźników może odbywać się na dwa sposoby:

- 1) sortowanie ze względu na właściwości (cechy), takie jak emisje (do powietrza, wody) lub skalę oddziaływania (globalna, regionalna, lokalna);
- 2) sporządzanie rankingu poprzez nadawanie priorytetu: wysoki, średni, niski.

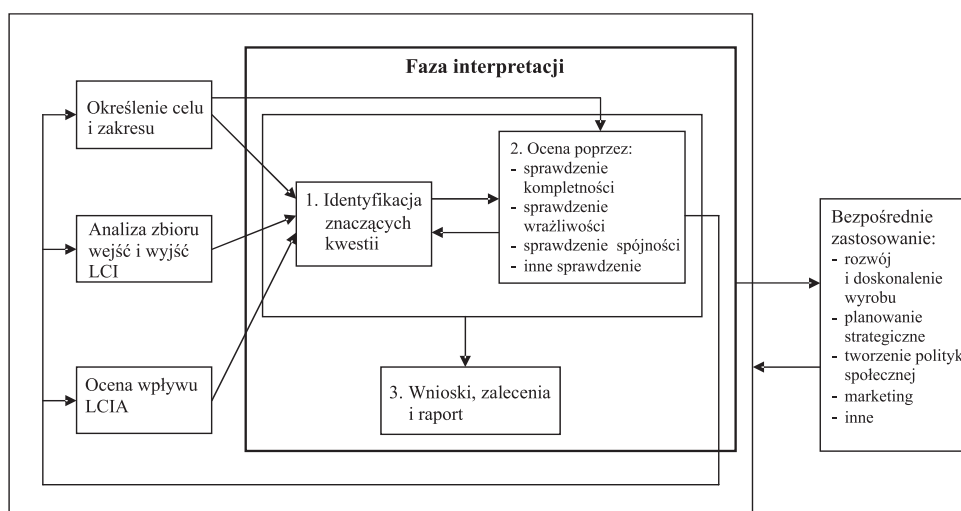
Ważenie przypisuje wagi albo wartości względne do kategorii wpływu. Jest to ważny krok, ponieważ kategorie wpływu powinny odzwierciedlać cele badania. Ważenie nie jest procesem opartym na naukowych parametrach, dlatego zasadniczego znaczenia nabiera fakt przejrzystego wyjaśnienia i udokumentowania metodologii.

Analiza jakości danych polega na tym, że po obliczeniu potencjalnego wpływu dla każdej wybranej kategorii musi być zweryfikowana dokładność wyników. LCIA przeprowadza się według systematycznej procedury, jednakże w tym badaniu przyjmuje się założenia i uproszczenia, a także wybiera wartości w sposób subiektywny. Dlatego tak ważne jest dokumentowanie tych ograniczeń i dołączenie opisu metodologii, dyskusji przyjętych założeń, wyboru wartości oraz opisanie niepewności modelu oddziaływania.

6. Interpretacja cyklu życia

Interpretacja jest fazą oceny cyklu życia LCA, w której we wzajemnym powiązaniu rozpatrywane są wyniki analizy zbioru (LCI) oraz wyniki oceny wpływu (LCIA), aby ustalić zalecenia i sformułować wnioski zgodnie ze zdefiniowanym celem badań. Na tym etapie dokonywana jest analiza rezultatów i interpretacja ich możliwości praktycznego wykorzystania.

Celem interpretacji cyklu życia jest analiza wyników, formułowanie wniosków, wyjaśnianie ograniczeń i dostarczanie zaleceń opartych na ustaleniach z poprzednich faz LCA. Interpretacja ma również na celu dostarczenie prezentacji wyników badań LCA w sposób łatwy do zrozumienia, spójny i przejrzysty.



Rys. 6. Powiązanie elementów fazy interpretacji z innymi fazami LCA [7]

Faza interpretacji składa się z trzech elementów powiązanych z innymi fazami LCA (rys. 6):

- 1) identyfikacji znaczących kwestii,
- 2) oceny,
- 3) wniosków, zaleceń i raportu.

Identyfikacja znaczących kwestii obejmuje [3, 7]:

- identyfikację i usystematyzowanie informacji będących ustaleniami z poprzednich faz (LCI i LCIA), a także dotyczących wyborów metodycznych, skali wartości stosowanych w badaniach, roli i odpowiedzialności zainteresowanych stron wynikające z celu i zakresu badań;

- określenie znaczących kwestii, którymi mogą być:
 - kategorie danych zbioru wejść i wyjść (energia, emisje odpady itd.);
 - kategorie wpływu (wykorzystanie zasobów, potencjał globalnego ocieplenia);
 - zasadnicze składowe etapów cyklu życia (procesy jednostkowe lub grupy procesów jednostkowych np. transport, wytwarzanie energii).

Do zidentyfikowania kwestii środowiskowych oraz określenia ich znaczenia stosuje się różnorodne metody i narzędzia np. ranking poprzez czynniki dominujące.

Ocena ma na celu uzyskanie i ugruntowanie zaufania do badań oraz wiarygodności wyników z uwzględnieniem znaczących kwestii oraz przedstawienie wyrażonego i zrozumiałego poglądu na rezultaty badań.

Celem ostatniego elementu interpretacji cyklu życia jest formułowanie wniosków i opracowanie zaleceń dla odbiorcy wyników badań LCA. Raport powinien zawierać kompletne i bezstronne sprawozdanie z badań.

7. Podsumowanie

Ocena cyklu życia LCA jest techniką zarządzania środowiskowego, w której ocenia się zagrożenia środowiskowe związane z wyrobem w całym okresie jego życia – „od kołyski po grób”. Dzięki temu nie zostaje pominięty żaden aspekt wytwarzania, funkcjonowania i likwidacji wyrobu. W LCA bierze się pod uwagę wszystkie ekosystemy i ich elementy, identyfikuje się transfer oddziaływania na środowisko z jednego komponentu środowiska na inny, dlatego możliwa jest pełna ocena wpływu wyrobu na środowisko. Prawidłowo przeprowadzone badanie LCA ułatwia podjęcie decyzji i wskazanie produktu lub procesu, który w najmniej szkodliwy sposób wpływa na środowisko.

LCA obejmuje kilka etapów, do których należy: określenie celu i zakresu badań, inwentaryzacja zbioru istotnych wejść i wyjść w systemie wyrobu (LCI), ocena potencjalnych wpływów na środowisko związanych z wejściami i wyjściami systemu (LCIA), interpretacja rezultatów analizy zbioru oraz fazy oceny wpływu w odniesieniu do celów badań.

W przyjętej w lutym 2005 r. *Strategii wdrażania w Polsce zintegrowanej polityki środowiskowej* dąży się do minimalizowania oddziaływania produktów na środowisko we wszystkich fazach cyklu ich życia. Cel ten musi opierać się na wiedzy, jakiej dostarczać będzie szeroko i systematycznie stosowana analiza cyklu życia produktu. Zintegrowana polityka środowiskowa będzie odgrywać także kluczową rolę we wdrażaniu *Strategii zrównoważonego użycia zasobów naturalnych* oraz *Strategii zapobiegania powstawaniu odpadów i ich recyklingu*.

Literatura

- [1] *Strategia wdrażania w Polsce zintegrowanej polityki produktowej*. Dokument przyjęty przez Komitet Europejski Rady Ministrów w dniu 25 lutego 2005 r., Ministerstwo Środowiska, luty 2005. Dostępny na: http://www.mos.gov.pl/sipw/zintegrowana_polityka_produkcyjna/strategia_ZPP.pdf
- [2] PN-EN ISO 14040: *Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Zasady i struktura*. Warszawa, PKN, wrzesień 2000
- [3] *Zarządzanie środowiskowe. Komentarz do norm serii ISO 14000*. Warszawa, PKN 2005
- [4] LCA 101: *Introduction to LCA*. U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. LCAccess – LCA 101, 2001. Dostępny na: <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm>
- [5] PN-EN ISO 14041: *Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Określenie celu i zakresu oraz analiza zbioru*. Warszawa, PKN, maj 2002
- [6] PN-EN ISO 14042: *Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Ocena wpływu cyklu życia*. Warszawa, PKN, sierpień 2002
- [7] PN-EN ISO 14043: *Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Interpretacja cyklu życia*. Warszawa, PKN, sierpień 2002