

XII SYMPOZJUM WYDZIAŁU ZARZĄDZANIA I MODELOWANIA KOMPUTEROWEGO

POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA
Kielce, 25-26 wrzesień 2014 r.

OCENA CYKLU ŻYCIA (LCA) – METODOLOGIA I MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA

**Aneta MASTERNAK-JANUS, Magdalena RYBACZEWSKA-
BŁĄŻEJOWSKA¹**

STRESZCZENIE

Ocena cyklu życia (LCA) stanowi zaawansowane narzędzie zarządzania środowiskowego, umożliwiające identyfikację i hierarchizację zagrożeń środowiskowych związanych z danym produktem lub procesem we wszystkich jego fazach cyklu życia. W publikacji ukazano istotę metody LCA oraz etapy jej realizacji. Przedstawiono również możliwości zastosowania LCA w praktyce gospodarczej.

1. WPROWADZENIE

Działalność przemysłowa niesie za sobą negatywne skutki dla środowiska w postaci zużycia zasobów naturalnych, wzrostu zanieczyszczeń wód, gleby i powietrza. Aby zapobiec degradacji środowiska naturalnego, w Unii Europejskiej wprowadza się coraz ostrzejsze normy środowiskowe, które mają na celu przywrócenie równowagi pomiędzy rozwojem gospodarczym i społecznym a ochroną środowiska. Pojawiają się wymagania dotyczące ekoznakowania i określania szkodliwego wpływu działalności przemysłowej na otoczenie. Równocześnie wzrasta świadomość ekologiczna klientów, która wymusza produkcję ekologicznych wyrobów przy wykorzystaniu przyjaznych dla środowiska procesów.

Do określenia relacji między produktem, procesem a środowiskiem naturalnym służą różne metody i techniki, wśród których coraz większą popularność zyskuje ocena cyklu życia (LCA). Metoda ta opisywana jest w wielu dokumentach Unii

¹ dr inż. Aneta Masternak-Janus, dr inż. Magdalena Rybaczewska-Błażejowska - Politechnika Świętokrzyska, Katedra Inżynierii Produkcji, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, PL- 25314 Kielce

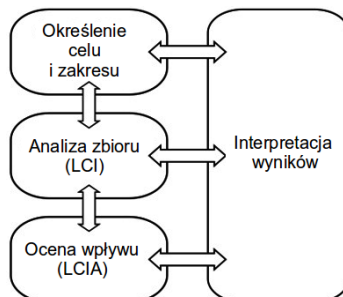
Europejskiej oraz krajowych jako zaawansowane narzędzie zarządzania środowiskowego, umożliwiające identyfikację i hierarchizację obciążeń środowiskowych oraz stwarzające podstawy do ustalania sposobów ich zmniejszania. Obciążenia środowiskowe dotyczą wszelkich oddziaływań produktów i procesów na środowisko naturalne w związku ze zużyciem surowców, emisją szkodliwych substancji, wytwarzaniem odpadów. Zasady, struktura, wytyczne i wymagania odnośnie oceny cyklu życia (LCA) zostały ustalone przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną w normach ISO 14040 i 14044, wraz z ich polskimi odpowiednikami, w tym PN-EN ISO 14040:2009 (Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura) i PN-EN ISO 14044:2009 (Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne) [1] [2].

Analiza LCA umożliwia prowadzenie badań obejmujących pełen cykl życia wyrobu „od kołyski aż do grobu” z uwzględnieniem wszystkich czynników wpływających na środowisko naturalne, które są z nim związane. Wyrobem w LCA może być każdy przedmiot materialny, usługa oraz proces produkcyjny lub jego poszczególne etapy. W badaniu bazuje się nie tylko na hipotetycznych założeniach i przewidywaniach, ale przede wszystkim na rzeczywistych danych [3]. Ocena cyklu życia może być zatem narzędziem wyboru najlepszego wariantu produktu lub procesu, a jej zastosowanie może wpłynąć pozytywnie nie tylko na środowisko, ale również na kondycję finansową firmy i jej wizerunek marketingowy.

2. METODOLOGIA OCENY CYKLU ŻYCIA (LCA)

Ocena cyklu życia (LCA) jest procesem złożonym, obejmującym cztery podstawowe etapy:

- określenie celu i zakresu,
- analizę zbioru (Life Cycle Inventory – LCI),
- ocenę wpływu (Life Cycle Impact Assessment – LCIA),
- interpretację wyników (rys. 1).



Rysunek 1. Model oceny cyklu życia [1] [2]

2.1. Określenie celu i zakresu badania

Zdefiniowanie celu i zakresu stanowi pierwszy etap badania oceny cyklu życia (LCA). Obejmuje on szereg następujących po sobie działań; do najważniejszych należy zaliczyć:

- określenie celu analizy,
- zdefiniowanie systemu i jednostki funkcjonalnej,
- określenie granic systemu.

Nadrzędnym celem prowadzenia badania LCA jest identyfikacja i hierarchizacja zagrożeń środowiskowych związanych z danym wyrobem lub procesem produkcyjnym. W praktyce, cel określa się indywidualnie dla każdego badania i może nim być zmniejszenie zużycia surowców naturalnych, poprawa efektywności energetycznej, zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów lub też analiza porównawcza obciążeń środowiskowych dwóch i więcej pełniących podobne funkcje wyrobów lub procesów.

Kolejnym zadaniem, które musi zostać zrealizowane podczas pierwszego etapu oceny cyklu życia (LCA) jest zdefiniowanie systemu i określenie jego granic. System wyrobu lub procesu produkcyjnego określa się jako zbiór materiałowo i energetycznie połączonych procesów jednostkowych, czyli najmniejszych części analizowanego procesu, wyodrębnionych na każdym z etapów cyklu życia począwszy od pozyskania surowców, poprzez wytwarzanie, transport, dystrybucję, użytkowanie, recykling, aż do unieszkodliwienia [4]. Granice systemu natomiast wyznaczają, które procesy jednostkowe będą przedmiotem badania LCA.

Jednostka funkcjonalna to najmniejsza jednostka przyjęta do badań, stanowiąca ilościowy opis systemu. Głównym zadaniem jednostki funkcjonalnej jest dostarczenie płaszczyzny odniesienia przy identyfikowaniu danych wejściowych i wyjściowych. Z tego względu musi być ona mierzalna i dobrana w sposób odpowiedni do celu analizy. Może być ona bardzo różnie wyrażana począwszy od jednostek fizycznych (np. tona lub litr danego produktu) po efekt ekologiczny (np. czas lub sposób użytkowania) [3].

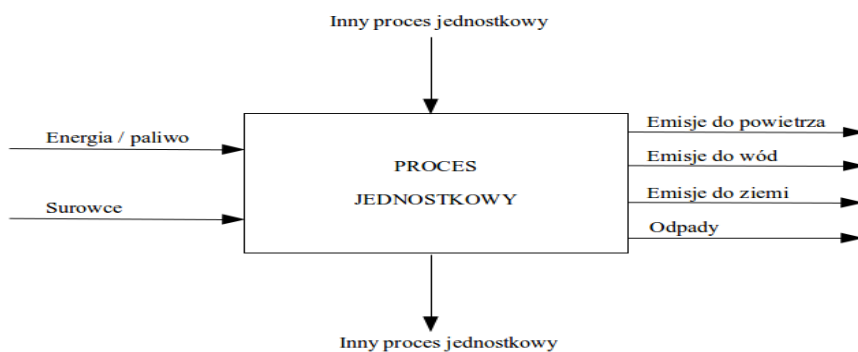
2.2. Analiza zbioru wejść i wyjść (LCI)

Analiza zbioru wejść i wyjść (LCI) stanowi drugi etap badania oceny cyklu życia (LCA). Obejmuje on następujące działania:

- inwentaryzacja danych,
- alokacja, walidacja i analiza jakości danych.

Inwentaryzacja danych obejmuje ilościowe zestawienie wejść (np. surowce i energia) i wyjść (np. emisje zanieczyszczeń, odpady) przyporządkowanych danemu procesowi jednostkowemu znajdującemu się w strukturze systemu wyrobu lub procesu produkcyjnego (rys. 2). Następnie zgromadzone dane przelicza się na

obraną jednostkę funkcjonalną. Wszystkie dane umieszcza się w tabelach inwentaryzacyjnych a procesy obrazuje się na schematach modelowych wraz ze wskaźnikami ilościowymi. Należy podkreślić fakt, iż jakość pozyskanych, zmierzonych, czy oszacowanych danych decyduje o wiarygodności całego badania LCA.



Rysunek 2. Powiązania procesu jednostkowego

2.3. Ocena wpływu cyklu życia na środowisko (LCIA)

Ocena wpływu cyklu życia na środowisko (LCIA) stanowi trzeci etap badania oceny cyklu życia (LCA). Obejmuje on szereg następujących po sobie działań, które dzieli się na obowiązkowe i fakultatywne. Do obowiązkowych elementów LCIA zalicza się:

- wybór kategorii wpływu, wskaźników kategorii i modeli charakteryzowania,
- klasyfikację, czyli przypisanie wyników analizy zbioru wejść i wyjść (LCI) do poszczególnych kategorii wpływu,
- charakteryzowanie, czyli obliczanie wartości wskaźników kategorii.

Wynikiem przeprowadzenia powyższych etapów jest profil środowiskowy analizowanego produktu lub procesu.

Pomimo faktu, iż tabela inwentaryzacyjna opracowana na etapie analizy zbioru wejść i wyjść (LCI) dostarcza bardzo szczegółowych danych środowiskowych o badanym wyrobie lub procesie produkcyjnym, interpretacja tak długich i różnorodnych, często obejmujących kilkaset substancji wykazów jest bardzo trudna a wręcz niemożliwa. By zatem umożliwić ocenę ich znaczenia odnośnie wpływu na środowisko, koniecznym jest wybranie modeli charakteryzowania z którymi wiążą się kategorie wpływu. Kategorie wpływu reprezentują kwestie środowiskowe do których mogą być przypisane dane zgromadzone na etapie analizy zbioru wejść i wyjść (LCI). Standardowe kategorie wpływu na środowisko obejmują, między innymi, zmiany klimatyczne, zakwaszenie, eutrofizację, wykorzystanie terenu, zubożenie zasobów naturalnych. Następnie poszczególnym kategoriom

wpływu przypisuje się dane z tabeli inwentarzowej (klasyfikacja) i przelicza na ogólną, określoną jednostkę wskaźników kategorii (charakteryzowanie) (tab. 1).

Tabela 1. Klasyfikacja danych LCI do przykładowych kategorii wpływu [5]

| Kategoria wpływu | Zakres danych LCI (klasyfikacja) | Wskaźnik kategorii | Opis wskaźnika kategorii |
|-------------------------------|--|---|--|
| Zmiany klimatyczne | dwutlenek węgla (CO ₂) dwutlenek azotu (NO ₂) metan (CH ₄) freony (CFC, HCFC) bromek metylu (CH ₃ Br) | potencjał globalnego ocieplenia - kg równoważnika CO ₂ na jednostkę funkcjonalną | przekształca wyniki LCI na równoważnik CO ₂ |
| Zakwaszenie | tlenki siarki (SO _x) tlenki azotu (NO _x) chlorowodór (HCl) fluorowodór (HF) amoniak (NH ₃) | potencjał zakwaszenia - kg równoważnika SO ₂ lub H ⁺ | przekształca wyniki LCI na równoważnik SO ₂ |
| Eutrofizacja | fosforany azotany amoniak (NH ₃) tlenki azotu (NO _x) | potencjał eutrofizacji – kg równoważnika PO ₄ ³⁻ lub P | przekształca wyniki LCI na równoważnik PO ₄ ³⁻ |
| Wykorzystanie terenu | powierzchnia wykorzystanego terenu w m ² | potencjał antropopresji – m ² wykorzystanego terenu na jednostkę funkcjonalną | przekształca wyniki LCI na – m ² wykorzystanego terenu |
| Zubożenie zasobów naturalnych | ilość zużytych surowców mineralnych i paliw kopalnych | potencjał zmniejszenia zasobów naturalnych | przekształca wyniki LCI na stosunek ilości wykorzystanych zasobów do ilości zasobów pozostałych w przyrodzie |

2.4. Interpretacja wyników

Interpretacja wyników stanowi czwartą, ostatnią fazę badania oceny cyklu życia (LCA). Jest ona określana jako procedura oceny informacji zgromadzonych w dwóch poprzednich fazach oceny cyklu życia a zatem w fazie LCI i LCIA. Faza interpretacji wyników powinna doprowadzić do sformułowania wniosków zgodnych z przyjętym celem i zakresem badania, wyjaśnienia ograniczeń badania

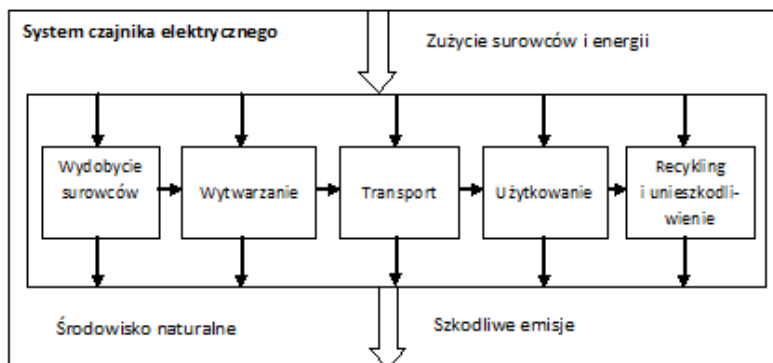
i określenia zaleceń umożliwiających zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko analizowanego procesu lub produktu. Fazę tę zamyka publikacja raportu z przeprowadzonego badania oceny cyklu życia (LCA).

3. MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA METODY LCA

Narzędzie oceny cyklu życia (LCA) ma uniwersalny charakter a co za tym idzie może być szeroko wykorzystywane w analizach środowiskowych dotyczących wyrobów i procesów produkcyjnych. Tradycyjne obszary zastosowania obejmują, między innymi:

- identyfikację możliwości poprawy aspektów środowiskowych produktów na różnych etapach ich cyklu życia (np. ocena cyklu życia wodomierzy przemysłowych) [6],
- charakteryzowanie lub ocenę porównawczą usług lub wybranych jej procesów jednostkowych w czasie (np. ocena cyklu życia różnych scenariuszy gospodarki odpadami) [7],
- dokonywanie porównań względnych pomiędzy produktami lub procesami w oparciu o wybrane wskaźniki kategorii (np. środowiskowa ocena technologii hutnictwa żelaza i stali [8]),
- podejmowanie decyzji w przemyśle, sektorze usługowym oraz organizacjach dotyczących planowania strategicznego, ustalania priorytetów, projektowania produktów lub procesów (np. oceny cyklu życia wykonywane w przemyśle chemicznym) [9],
- działania marketingowe dotyczące oświadczeń środowiskowych, schematów ekoetykietowania lub deklaracji środowiskowych produktów (np. deklaracje środowiskowe samochodów osobowych) [10].

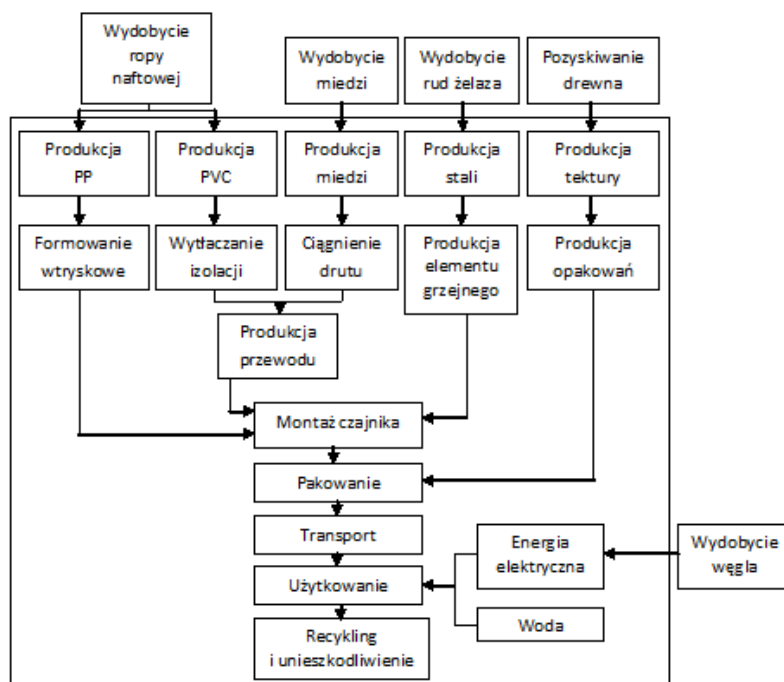
Przykładem zastosowania techniki LCA jest przeprowadzenie analizy środowiskowej dla przedmiotu codziennego użytku: czajnika elektrycznego. Na początek należy ustalić cel badania, np. optymalizacja czasu użytkowania czajnika elektrycznego składającego się z dzbanka z pokrywą o pojemności 1,7 l i obrotowej podstawy z przewodem przyłączeniowym o długości 1 m oraz zwiększenie stopnia ponownego wykorzystania materiałów, z których jest wykonany czajnik. Zakres badań wynika z założonego celu, dlatego powinien obejmować cały cykl życia czajnika elektrycznego z następującymi fazami: wydobywanie surowców, wytwarzanie, transport, użytkowanie, recykling i unieszkodliwienie. Fazy te wyznaczają granice systemu (rys. 3). Jednostka funkcjonalna wynika z głównej funkcji czajnika ustalonej ze względu na cel badania, np. zagotowanie 1 l wody pięć razy dziennie przez 5 lat.



Rysunek 3. System czajnika elektrycznego

Z każdą fazą cyklu życia związane są charakterystyczne dla niej procesy, które oddziałują na środowisko naturalne. Oszacowanie wpływu czajnika elektrycznego na środowisko wymaga zatem zbadania wszystkich tych oddziaływań. W tym celu procesy jednostkowe występujące w kolejnych fazach cyklu życia należy przedstawić za pomocą tzw. „drzewa procesów”, czyli schematu ukazującego ich wzajemne powiązania oraz wejścia i wyjścia, które w nich występują (rys. 4). W przedstawionym na rysunku 4 „drzewie procesów” z systemu wykluczono pozyskanie surowców naturalnych: ropy naftowej, rud żelaza, miedzi, węgla i drewna.

Jeśli cykl życia wyrobu jest długi i złożony, a określenie wszystkich procesów jednostkowych oraz ich wejść i wyjść sprawia trudność lub jest niemożliwe, w analizie LCA można wprowadzić pewne ograniczenia i wykonać ją dla wybranych faz: np. wytwarzania (z wszystkimi operacjami procesu technologicznego czajnika elektrycznego) i użytkowania. W takim przypadku jedynie te fazy wraz z powiązanymi procesami jednostkowymi znajdują się w granicach systemu. Należy również jasno określić, które procesy jednostkowe zostaną wykluczone z systemu np. operacja pakowania i transportu.



Rysunek 4. Uproszczone „drzewo procesów” dla czajnika elektrycznego, opracowanie własne na podst.: [11]

Skonstruowanie „drzewa procesów” ułatwia sporządzenie ilościowego zestawienia materiałów, energii, odpadów związanych z każdym procesem jednostkowym, czyli zgromadzenie wpływów środowiskowych w tablicy inwentarzowej (tab. 2). Przykładowo: aby oszacować wejścia materiałowe do procesu wytwórczego czajnika elektrycznego należy wyodrębnić wszystkie jego elementy i przypisać do nich materiały, z których są wykonane. Typowy czajnik elektryczny produkowany jest z tworzywa sztucznego (polipropylen PP), dno dzbanka z grzałką płytową wykonane jest ze stali szlachetnej, a główny przewód z miedzi i PVC.

Tabela 2. Uproszczony spis inwentarzowy dla czajnika elektrycznego [11] [12] [13]

| | Zużycie materia- łów | Zużycie energii | Odpady i emisje |
|----------------------------------|--|--|---|
| Produkcja podstawowych elementów | Obudowa: PP (0,15 kg), podstawa: PP (0,07 kg), przewód: miedź (0,03 kg) i PVC (0,15 kg), grzałka: nikiel (0,036 kg), żelazochrom (0,0684 kg), stal (0,0228 kg) | Technologie produkcyjne stosowane do wytwarzania elementów czajnika są związane ze zużyciem energii. | Podczas formowania wtryskowego i wytłaczania powstają odpady poprodukcyjne, które są poddawane odzyskowi. Produkcja stali powoduje powstawanie odpadów stałych i zanieczyszczenie powietrza. Problemy w związku z ciągnięciem drutu to: emisje do atmosfery, zużyte kwasy, woda odpadowa, przepracowane smary, pył mydlany lub ścieki, odpady zawierające ołów. |
| Montaż czajnika | Nieistotne | Wykorzystuje się sprężone powietrze – zużycie energii jest znikome. Operacja testowania zużywa 0,5 MJ | Odpady i emisje są nieistotne |
| Dystrybucja | Skład opakowań konsumenckich: tektura (520 g), papier (12 g), polietylen (16g) Zużycie w transporcie: palety drewniane | Ciężarówki transportujące czajniki do sklepów zużywają olej napędowy | Emisje w związku z transportem np. CO ₂ , NO _x , ozon |
| Użytkowanie czajnika | 1 l wody gotowanej pięć razy dziennie przez 5 lat: ponad 9000 l | Czajnik o mocy 2,2 kW do zagotowania 1 l wody pięć razy dziennie zużywa rocznie 200,74 kWh. Przez 5 lat zużycie ogółem wyniesie 1003,7 kWh | Emisje do powietrza i wody oraz odpady stałe w związku z produkcją energii elektrycznej |
| Utylizacja | Nieistotne | Transport do składowiska odpadów ciężarówką na olej napędowy | Czajnik jest obecnie usuwany na składowiska. Około 20% masy opakowań kartonowych jest poddawanych recyklingowi. |

W kolejnych etapach analiza LCA wymaga specjalistycznego oprogramowania, w przeciwnym wypadku obliczenia są bardzo żmudne, a często wręcz niemożliwe do wykonania. Jednym z najlepszych programów posiadających szeroką bazę da-

nych dla produktów i procesów oraz kilka metod szacowania oddziaływań środowiskowych jest SimaPro. W wyniku komunikacji z programem dla każdej fazy cyklu życia wyrobu ustala się rodzaj występujących procesów jednostkowych oraz wielkości zużycia materiałów i energii oraz emisji do środowiska (podając własne informacje lub korzystając z dołączonych baz danych). Jest to tzw. inwentaryzowanie danych, które zostają pogrupowane w cztery pola oddziaływania: powietrze, woda, gleba, surowce. Kolejno zgodnie z wybraną metodą dane te łączone są w tzw. kategorie wpływów środowiskowych („punkty pośrednie”), następnie w tzw. obszary wpływu („punkty końcowe”), aby ostatecznie zostać połączonymi w jeden syntetyczny wskaźnik. Jego wartość informuje o tym, jaki udział ma określona substancja chemiczna w danej kategorii oddziaływania.

W ramach programu SimaPro dostępne są różne metody pozwalające na klasyfikowanie i charakteryzowanie danych, a jedną z nich jest Eco-indicator 99. Posiada ona 3 obszary i 11 kategorii wpływu na środowisko: zdrowie ludzkie (emisja substancji rakotwórczych, choroby układu oddechowego powodowane przez związki organiczne i nieorganiczne, zmiany klimatu, emisja promieniowania, zużycie warstwy ozonowej), jakość ekosystemu (zatrucie środowiska substancjami toksycznymi, zakwaszenie i eutrofizacja, wykorzystanie terenu), zużycie surowców (wydobycie surowców mineralnych, wyczerpywanie zasobów paliw kopalnych).

Trzy syntetyczne obszary wpływu na środowisko wraz z przypisanymi do nich kategoriami wpływu są wyrażone w odpowiednich jednostkach [14]:

- zdrowie ludzkie – DALY (*disutility adjusted life years*), czyli liczba lat życia ludzkiego przeżytych w chorobie lub straconych,
- jakość ekosystemu – $\text{PDF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{rok}$ lub $\text{PAF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{rok}$, gdzie PDF oznacza potencjalnie utraconą część gatunków roślin, a PAF potencjalnie uszkodzoną część tych gatunków,
- zużycie zasobów – MJ nadmiernej energii, oznacza MJ dodatkowej energii potrzebnej dla wykorzystania w przyszłości zastępczych, gorszej jakości, źródeł zaopatrzenia materiałowego lub energetycznego.

Uzyskanie wartości liczbowych syntetycznych obszarów wpływu jest możliwe, ponieważ jednostki poszczególnych wpływów środowiskowych zebranych w procesie inwentaryzowania po zaklasyfikowaniu do odpowiedniej kategorii wpływu są przeliczane, przy pomocy tzw. parametrów charakteryzowania specyficznych dla metody Eco-indicator 99, na jednostkę danej kategorii wpływu (DALY, $\text{PDF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{rok}$ lub $\text{PAF}\cdot\text{m}^2\cdot\text{rok}$, MJ nadmiernej energii), co pozwala na ich zsumowanie. Dane przedstawiane są na wykresach, co ułatwia wyciąganie wniosków np. wyznaczenie kategorii wpływu mających największe znaczenie, wyodrębnienie faz cyklu życia wyrobu lub procesów jednostkowych z nimi związanych najbardziej obciążających środowisko w ramach danej kategorii wpływu itp.

4. ZAKOŃCZENIE

Ocena cyklu życia (LCA) stanowi najbardziej zaawansowane formalno-prawne narzędzie zarządzania środowiskowego, rekomendowane przez polskie i europejskie prawo. Jest to metoda uniwersalna i może być wykorzystywana do określania oddziaływań środowiskowych zarówno produktów jak i procesów w wielu różnych branżach usługowych i przemysłowych. Pomimo licznych działań Parlamentu Europejskiego i Rady w celu popularyzacji LCA, istnieje nadal szereg przeszkód, które znacznie ograniczają jej stosowanie, w szczególności w małych i średnich przedsiębiorstwach (MŚP). Wśród najważniejszych należy wymienić złożoność procedur obliczeniowych, koszty, brak specjalistycznego oprogramowania, brak wiedzy eksperckiej, czy wreszcie brak branżowych przewodników wdrażania LCA.

W ostatnich latach następuje jednak coraz większe zainteresowanie ekologią, a koncepcja zrównoważonego rozwoju zyskuje coraz szersze grono zwolenników. W związku z tym pojawiają się naciski wobec producentów dotyczące przeniesienia oceny spełnienia wymagań ochrony środowiska z obszaru dobrowolnego do obowiązkowego i przejścia odpowiedzialności środowiskowej za wyrób nie tylko w fazie jego produkcji, ale również w okresie i po okresie użytkowania. W tym kontekście zastosowanie metody LCA wydaje się być zatem bardzo przyszłościowe.

WYNIKI PRZEDSTAWIONE W PUBLIKACJI ZOSTAŁY UZYSKANE W TRAKCIE BADAŃ SFINANSOWANYCH W RAMACH PROJEKTU „PERSPEKTYWY RSI ŚWIĘTOKRZYSKIE – IV ETAP” NR:WND – POKL.08.02.02 – 26 – 001/12 – PROGRAM OPERACYJNY KAPITAŁ LUDZKI, PRIORYTET VIII, DZIAŁANIE 8.2 TRANSFER WIEDZY, PODDZIAŁANIE 8.2.2 REGIONALNE STRATEGIE INNOWACJI.

LITERATURA

- [1] PN-EN 14040:2009, Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura.
- [2] PN-EN 14044:2009, Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne.
- [3] Kowalski Z., Kulczycka J., Góralczyk M., *Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA)*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007, s. 7-48.
- [4] Iwaniuk K., Buchwald T., *Przegląd zastosowań LCA dla oczyszczalni ścieków*, Ekologia i Technika nr 5 (126) 2013, s. 225.

- [5] Tukker A., *Handbook on Life Cycle Assessment*, Kluwer Academic Publishers, New York Boston Dordrecht London Moscow 2002, s. 63-96.
- [6] Kłos Z., Kurczewski P., Kasprzak J., *Środowiskowe charakteryzowanie maszyn i urządzeń. Podstawy ekologiczne, metody i przykłady*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005, cyt. za. Kulczycka J. i inni, *Opracowanie metodyki LCA dla oceny projektów infrastrukturalnych*, Kraków, 2008, str.71-74, https://www.ewaluacja.gov.pl/Wyniki/Documents/rimi_017.pdf.
- [7] Schluchter W., Rybaczewska-Błażejowska M., *Life cycle sustainability assessment of municipal waste management systems*, Management nr 2/2012, s. 311-322.
- [8] Burchart-Korol D., *Środowiskowa ocena technologii hutnictwa żelaza i stali na podstawie LCA*, Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, Główny Instytut Górnictwa nr 3/2010, s. 5-13.
- [9] Graczyk M., *Ocena cyklu życia jako dobra praktyka promowania zasad zrównoważonego rozwoju na poziomie przedsiębiorstw*, „Funkcjonowanie przedsiębiorstw w warunkach zrównoważonego rozwoju i gospodarki opartej na wiedzy”, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Białymstoku, Białystok 2009, s. 154-159.
- [10] Gruszka A., Niegowska E., *Zarządzanie środowiskowe: Komentarz do norm serii ISO 14000*, Wydawnictwo PKN, Warszawa 2004, s. 85-90.
- [11] https://www.dlsweb.rmit.edu.au/conenv/envi1128/focus3/f3_t7_q37.htm.
- [12] *Jaki czajnik elektryczny kupić?*, <http://www.jakkupowac.pl/jaki-czajnik-elektryczny-kupic>.
- [13] Grzesik K., Guca K., *Screening Study of Life Cycle Assessment (LCA) of the Electric Kettle with SimaPro Software*, Geomatics and Environmental Engineering, Volume 5, Number 3, 2011, str. 62.
- [14] Szoega H.M., Sobolewska A., *Analiza cyklu życia opakowań w handlu jabłkami w aspekcie oddziaływania na środowisko naturalne*, Roczniki Nauk Rolniczych, Seria G, T. 96, z. 4, 2009, s. 131.

LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) – METHODOLOGY AND APPLICABILITY

SUMMARY

Life cycle assessment (LCA) provides a powerful tool for environmental management, enabling the identification and prioritization of environmental impacts related to a product or process in all phases of the life cycle. The publication has shown the essence of the LCA instrument and the stages of its implementation. It also presents the possible use of LCA in business practice.