

Katarzyna Joachimiak-Lechman

ŚRODOWISKOWA OCENA CYKLU ŻYCIA (LCA) I RACHUNEK KOSZTÓW CYKLU ŻYCIA (LCC). ASPEKTY PORÓWNAWCZE

Katarzyna Joachimiak-Lechman, mgr inż. – Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

adres korespondencyjny:

Wydział Towaroznawstwa

Katedra Towaroznawstwa i Ekologii Produktów Przemysłowych

Aleja Niepodległości 10, 60-967 Poznań

e-mail: katarzyna.joachimiak-lechman@ue.poznan.pl

ENVIRONMENTAL LIFE CYCLE ASSESSMENT AND LIFE CYCLE COST. COMPARATIVE ASPECTS

SUMMARY: Costs calculation based on life cycle phases has a multinational roots reaching second decade last century. The literature review reveals a multitude of approaches to this issue that results in large number of cost estimation models and scope of their applications. In this paper is discussed the integration possibility of environmental Life Cycle Costing (e-LCC) and Life Cycle Assessment (LCA). It is recommended that this tools can be used parallel, however this approach raises still some concerns, especially in context of methodological consistency. In connection with the above, an attempt has been made to systemise the current knowledge on environmental and economic aspects integration that is based on concept of Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) and to analyze the main LCA methodological steps in context of its correlation with Life Cycle Costing.

KEY WORDS: Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC), Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA), Integration

Wstęp

W literaturze przedmiotu funkcjonuje wiele definicji kosztów cyklu życia produktu, zazwyczaj jednak odwołują się one do konkretnych obiektów badawczych lub faz w ich cyklu życia, co powoduje uzasadniony dysonans poznawczy. Pomimo iż algorytm kalkulowania kosztów oparty na poszczególnych etapach życia wyrobu ma wielonarodowe korzenie sięgające drugiej dekady XX wieku, do dziś nie opracowano znormalizowanej metodyki w tym zakresie, za pewnymi wyjątkami, jak na przykład ISO/TS 21929-1 - specyfikacja techniczna dla budownictwa. Ogólne podejście do tej koncepcji zaprezentowano w normie ISO PN – EC 60300-3-3, według której szacowanie kosztu cyklu życia (*Life Cycle Costing – LCC*) „stanowi proces analizy ekonomicznej mającej na celu ocenę kosztu ponoszonego w całym cyklu życia wyrobu lub w części tego cyklu”¹. Tradycyjne LCC niewiele ma wspólnego z kontekstem środowiskowym i rekomendowane jest przez dyscypliny ekonomiczne jako narzędzie służące ocenie opłacalności projektów inwestycyjnych oraz określaniu istotności rozwiązań alternatywnych². Dotychczasowy przegląd literaturowy ukazuje bardzo wiele przykładów wykorzystania tej techniki w kontekście inwestycji odtworzeniowych, modernizacyjnych lub rozwojowych, które w dużej mierze decydują o innowacyjności przedsiębiorstwa. Takie podejście zasadniczo nie budzi obiekcji, w przeciwieństwie do stosowania LCC w kontekście pojedynczego wyrobu. Na tej płaszczyźnie rodzi się wiele wątpliwości, które generalnie wynikają z samego definiowania cyklu życia wyrobu.

Z perspektywy modelowania kosztów oraz celu takiej analizy wyróżnia się wiele typów rachunku kosztów cyklu życia. Głównym przedmiotem zainteresowania w niniejszym artykule uczyniono środowiskowy rachunek cyklu życia, z uwagi na to, iż jest to podejście stosunkowo nowe i wzbudzające wiele dyskusji na arenie międzynarodowej. Problematyka ta wiąże się z integracją aspektów środowiskowych oraz kosztowych w ramach podejścia zwanego zrównoważoną oceną cyklu życia (*Life Cycle Sustainability Analysis – LSCA*)³. Biorąc pod uwagę rozproszenie informacji na ten temat oraz liczne niespójności, głównym celem artykułu było usystematyzowanie aktualnego stanu wiedzy oraz przeanalizowanie zasadniczych kroków metodycznych korelacji technik środowiskowo-ekonomicznych. W literaturze przedmiotu pojawia się wciąż wiele wątpliwości na temat

¹ PN-EN 60300-3-3: *Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Szacowanie kosztu cyklu życia*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006.

² P. Gluch, H. Baumann, *The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision making*, „Building and Environment” 2004 nr 39, s. 571-580.

³ J. B. Guinee, R. Heijungs, G. Huppes, A. Zamagni, P. Masoni, R. Buonamici, T. Ekvall, T. Rydberg, *Life Cycle Assessment: Past, Present and Future*, „Environmental Science & Technology” 2011 nr 45, s. 90-96.

analiz typu LCSA, uznano więc, że rozważania podjęte w niniejszym artykule mogą stanowić wartościowy głos w toczącej się dyskusji.

Koncepcja cyklu życia i jej implikacje dla analizy kosztowej

W cyklu życia wyrobu występują trzy główne fazy: przedprodukcyjna, produkcyjna oraz poprodukcyjna. Postrzeganie tych faz, a przede wszystkim przypisane im kategorie kosztowe różnią się w zależności od przyjętego cyklu życia wyrobu. Jest to powód funkcjonowania wielu teoretycznych oraz praktycznych podejść w tej kwestii, co rodzi z kolei pewien chaos poznawczy.

Marketingowy cykl życia wyrobu

Koncepcja cyklu życia pojawia się w różnych dyscyplinach naukowych i jest przez nie różnie definiowana. Zwyczajowo cykl życia wyrobu jest analizowany z marketingowego punktu widzenia i odnosi się do okresu występowania wyrobu na rynku: od wprowadzenia go na rynek, poprzez fazę wzrostu sprzedaży, dojrzałości produktu aż do wycofania z rynku. Wskaźnikiem sytuującym produkt w konkretnej fazie marketingowego cyklu życia jest wielkość sprzedaży stanowiąca odzwierciedlenie popytu i sytuacji rynkowej analizowanych produktów. W praktyce określa się często jeszcze dodatkowe fazy cyklu życia, a mianowicie: projektowanie wyrobu, tworzenie prototypu, przygotowanie produkcji oraz likwidacji, która obejmuje między innymi przygotowanie do utylizacji⁴. Taka perspektywa cyklu życia jest szeroko opisywana w literaturze przedmiotu oraz wywodzi się z nurtu strategicznego zarządzania kosztami, w obrębie którego opracowano wiele metod i narzędzi, a jednym z nich jest rachunek kosztów cyklu życia.

Trzema głównymi grupami kosztów, które stanowią przedmiot kalkulacji w „tradycyjnym” cyklu życia, są:

- koszty badań i rozwoju ponoszone w fazie przedrynkowej;
- koszty produkcji, sprzedaży oraz inne składniki kosztów ponoszone w fazie rynkowej;
- koszty zakończenia produkcji występujące w ostatniej fazie cyklu życia⁵.

Odnosząc się natomiast do przywoływanych na początku ogólnych faz cyklu życia, wyodrębnić należy następujące koszty:

- dla fazy przedprodukcyjnej – koszty związane z badaniem i rozwojem produktu, planowaniem produkcji, prototypowaniem, testowaniem;
- dla fazy produkcyjnej – koszty związane z wytworzeniem produktu, procesami logistycznymi oraz wspomagającymi produkcję – na przykład koszty

⁴ M. Biernacki, *Koncepcja cyklu życia produktu*, w: *Rachunek kosztów cyklu życia produktu w przedsiębiorstwie*, red. R. Kowalak, Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego, Wrocław 2009, s. 46.

⁵ E. Nowak, M. Wierzbński, *Rachunek kosztów-modele i zastosowanie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2004, s. 108.

reklamy i dystrybucji, koszty napraw gwarancyjnych i innych usług posprzedażnych, koszty administracyjne i ogólnogospodarcze;

- dla fazy poprodukcyjnej – koszty związane z recyklingiem lub sprzedażą pozostałych po produkcji materiałów i półproduktów, koszty rekultywacji i odkażania terenu, koszty demontażu i transportu maszyn oraz urządzeń⁶.

Ideą przedstawionego powyżej rachunku jest zestawienie całkowitych przychodów i kosztów całego cyklu życia alternatywnych wyrobów i wybór na tej podstawie rozwiązania bardziej opłacalnego. Jest więc to podejście holistyczne i długofalowe, dotyczy jednak okresu od „narodzin do śmierci handlowej wyrobu”, a więc tylko i wyłącznie perspektywy producenta, co zasadniczo różni je od koncepcji prezentowanych w dalszej części artykułu.

Ekologiczny cykl życia wyrobu

O ile w przypadku podejścia marketingowego „przemieszczanie” produktu w ramach faz cyklu życia determinowane jest wielkością sprzedaży (przychodami ze sprzedaży), o tyle w ujęciu ekologicznym ma to drugorzędne znaczenie, a w wielu przypadkach jest w ogóle pomijane. W ramach dyscyplin ścisłych wyróżnia się fizyczny cykl życia wyrobu (od kołyski do grobu), odpowiadający podejściu procesowemu: począwszy od wydobycia i przetworzenia surowców poprzez produkcję, użytkowanie aż do końcowego zagospodarowania⁷. Podobne podejście zaprezentowano w normie ISO PN-EN 60300-3-3:2006, w której cykl życia określony jest jako „przedział czasu od powstania koncepcji wyrobu do jego końcowego zagospodarowania”⁸. Norma ISO 14040:2009 definiuje cykl życia jako „kolejne i powiązane ze sobą etapy systemu wyrobu, od pozyskania lub wytworzenia surowca z zasobów naturalnych do ostatecznej likwidacji”⁹. Oznacza to, iż analizowanie tak zdefiniowanego cyklu życia polega na szacowaniu kosztów ponoszonych przez wszystkich jego uczestników, a nie jedynie producenta. Analiza środowiskowego cyklu życia jest skoncentrowana na fizycznych cechach produktu i aspektach środowiskowych powiązanych z realizacją poszczególnych faz jego cyklu życia. Bez względu na ilość danego produktu poddawaną ocenie, przechodzi on te same etapy cyklu życia, a struktura cyklu życia będzie identyczna bez względu na to, czy analizie zostanie poddany pojedynczy, czy więcej produktów. W środowiskowym ujęciu, cykl życia postrzegany jest przez pryzmat funkcji (użyteczności) produktu, a dokładniej jako proces stopniowego nabywania i utraty zdolności do zaspakajania określonych potrzeb¹⁰. Podobnie jak

⁶ *Rachunek kosztów cyklu ...*, op. cit., s. 38.

⁷ W. Adamczyk, *Ekologia wyrobów*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2004, s. 20.

⁸ PN-EN 60300-3-3: *Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Szacowanie kosztu cyklu życia*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006.

⁹ PN-EN ISO 14040: *Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Zasady i struktura*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009.

¹⁰ J. Selech, P. Kurczewski, *Ocena kosztów cyklu życia LCC*, w: *Zasady prośrodowiskowego projektowania obiektów technicznych dla potrzeb zarządzania ich cyklem życia*, red. P. Kurczewski, A. Lewandowska, KMB DRUK, Poznań 2008, s. 102.

w przypadku podejścia marketingowego, jest to okres niejednorodny, w którym występują zarówno koszty, jak i przychody, dlatego analizując środowiskowy cykl życia produktu także należy akcentować materialną korzyść występującą w czasie jego trwania. Jednak ów przychód nie stanowi głównego kryterium wyodrębniania kolejnych faz cyklu życia i występuje zazwyczaj na etapie likwidacji wyrobu jako wartość rezydualna lub korzyść z tytułu sprzedaży surowców wtórnych.

Choć w literaturze przedmiotu jednoznacznie się o tym nie wspomina, to na gruncie środowiskowego cyklu życia można także wyodrębnić fazę przedprodukcyjną, produkcyjną oraz poprodukcyjną. Pierwsze dwie fazy dotyczyłyby w większości przypadków inwestora-producenta, który dąży do redukcji kosztów celem osiągnięcia maksymalnego zysku, a faza poprodukcyjna rozpoczynałaby się w momencie pojawienia się wyrobu na rynku i byłaby związana z kosztami użytkowania/eksploatacji wyrobu oraz jego końcowym zagospodarowaniem.

Rozważając środowiskowy cykl życia wyrobu należy przywołać jedno z głównych narzędzi zarządzania środowiskowego, które bazuje na tej koncepcji, a mianowicie środowiskową ocenę cyklu życia (*environmental Life Cycle Assessment – LCA*). Zgodnie z terminologią zawartą w odpowiednich dokumentach normatywnych LCA stanowi technikę oceny aspektów środowiskowych oraz potencjalnych wpływów na środowisko w całym okresie życia wyrobu¹¹. Technika LCA charakteryzuje się dużą elastycznością, co powoduje, że istnieje całe spektrum możliwych obszarów jej zastosowań, od stosowanych w skali makro analiz sektorowych czy wykorzystania w sferze publicznej (w polityce ekologicznej¹²), do zastosowań na poziomie pojedynczej organizacji¹³. W pewnym stopniu możliwość aplikacji LCA ogranicza fakt, iż w klasycznym ujęciu nie uwzględnia ona kwestii ekonomicznych, a przecież szczególne znaczenie w procesie podejmowania decyzji ma właśnie analiza kosztów i rachunek efektywności ekonomicznej¹⁴. Włączenie zagadnień kosztowych w strukturę badania LCA ma fundamentalne znaczenie w procesie zarządzania cyklem życia wyrobu i stanowi od dłuższego czasu przedmiot prac SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*). Narzędzie bazujące na założeniach technik LCA oraz LCC może być z powodzeniem wykorzystywane w ramach koncepcji Zintegrowanej Polityki Produktowej (*Integrated Product Policy – IPP*) i tym samym wyznaczać kierunki komplekso-

¹¹ PN-EN ISO 14040: *Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Zasady i struktura*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009.

¹² J. Kulczycka, *Odzwierciedlenie metody oceny cyklu życia w polityce ekologicznej*, „Ekonomia i Środowisko” 2009 nr 1(35), s. 52-61.

¹³ A. Lewandowska, *Environmental Life Cycle Assessment as a tool for identification and assessment of environmental aspects in environmental management systems (EMS). Part 1 Methodology*, „The International Journal of Life Cycle Assessment” 2011 nr 16(2), s. 178-186.

¹⁴ Z. Kowalski, J. Kulczycka, M. Góralczyk, *Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2007.

Tabela 1
Porównanie LCA oraz tradycyjnego rachunku kosztów cyklu życia

Wyróżnik	Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA)	Tradycyjny rachunek kosztu cyklu życia (LCC)
Charakter narzędzia	Narzędzie zarządzania środowiskowego	Narzędzie rachunkowości zarządczej
Cel analizy	Porównanie środowiskowych konsekwencji wypełnienia tej samej funkcji przez alternatywne systemy wyrobów w całym cyklu ich życia	Porównanie efektywności ekonomicznej alternatywnych rozwiązań inwestycyjnych/rentowności wyrobu w całym cyklu życia
Charakter cyklu życia	Fizyczny, definiowany przez pryzmat funkcji wyrobu, podejście procesowe	Ekonomiczny; wyznaczany przez generowane korzyści netto/trend sprzedaży
Okres cyklu życia	Od kołyski do grobu (od wydobycia surowców poprzez produkcję, użytkowanie, do końcowego zagospodarowania)	Od podjęcia decyzji inwestycyjnej poprzez fazę operacyjną do fizycznej likwidacji przedsięwzięcia /Od narodzin do śmierci handlowej (od powstania koncepcji, poprzez produkcję, obecność na rynku, do wycofania)
Przepływy	Strumienie materiałowo-energetyczne (jednostki fizyczne)	Strumienie pieniężne – wpływy, wydatki (jednostki monetarne)
Aspekt czasowy	Pomijany – zakładana integracja czasowa w modelach LCI i LCIA	Uwzględniany-dyskontowanie przyszłych strumieni pieniężnych (<i>wartość zaktualizowana netto</i>)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: G. A. Norris, *Integrating life cycle cost analysis and LCA*, „The International Journal of Life Cycle Assessment” 2001, nr 6(2), s. 118-120.

wego rozwoju wyrobów i usług¹⁵. Uzyskanie spójności pomiędzy technikami cyklu życia służącymi ocenie aspektów środowiskowych, kosztowych i społecznych uznaje się za jedno z wyzwań stojących w zakresie rozwoju LCA i LCSA¹⁶. W rzeczywistości tradycyjne LCC oraz LCA, prócz opierania się na perspektywie cyklu życia (*Life Cycle*) oraz funkcjonowania jako narzędzia wspomagające procesy decyzyjne, mają ze sobą niewiele wspólnego. Dlatego też, zważywszy na liczne rozbieżności występujące w samej perspektywie środowiskowego oraz ekonomicznego/marketingowego cyklu życia (tabela 1), na potrzeby skutecznego skorelowania LCA z analizą kosztową opracowano nowe narzędzie, zwane środowiskowym cyklem życia wyrobu, tak zwane *environmental LCC*, zwany również *LCA-based LCC* (skrót: e-LCC), który szczegółowo został opisany w dalszej części artykułu¹⁷.

¹⁵ Z. Foltynowicz, A. Lewandowska, *Life Cycle Assessment in Poland – general review*, „Forum Ware International” 2005 nr 6(1), s. 7-10; J. Kulczycka, M. Góralczyk, *LCA for cost internalisation – increased eco-efficiency through implementation of Integrated Product Policy*, 2nd International Conference on Quantified Eco-Efficiency Analysis for Sustainability.

¹⁶ J. B. Guinee, R. Heijungs, G. Huppes, A. Zamagni, P. Masoni, R. Buonamici, T. Ekvall, T. Rydberg, *Life Cycle Assessment: Past, Present and Future*, „Environmental Science & Technology” 2011 nr 45, s. 90-96.

¹⁷ D. Hunkeler, G. Rebitzer, *The Future of Life Cycle Assessment*, „The International Journal of Life Cycle Assessment” 2005 nr 10(5), s. 305-308.

Teoretyczne podstawy środowiskowego rachunku cyklu życia

Literatura przedmiotu dzieli rachunek kosztów cyklu życia według wielu klasyfikacji. Generalnie, w zależności od szczegółowości i celu analizy wyróżnia trzy rodzaje: konwencjonalne LCC (zwane również tradycyjnym lub biznesowym), środowiskowe LCC oraz społeczne LCC. Poniżej przedstawiono ich krótką charakterystykę.

Konwencjonalny rachunek kosztów cyklu życia należy do tradycyjnych koncepcji ekonomicznych i można go prowadzić z trzech perspektyw, a mianowicie: producenta wyrobu, odbiorcy wyrobu oraz wszystkich pozostałych zainteresowanych stron, przykładowo podmiotów występujących w łańcuchu dostaw¹⁸.

W pierwszym przypadku analiza dotyczy opisanego wcześniej marketingowego cyklu życia wyrobu, a jej celem jest oszacowanie i monitorowanie wszystkich kosztów wyrobu w jego życiu handlowym wraz z uwzględnieniem obsługi posprzedażnej, przykładowo napraw gwarancyjnych. Natomiast w kontekście rozwoju wyrobu, przede wszystkim dotyczy to dóbr trwałego użytku, częstą praktyką jest szacowanie przez producentów dodatkowo kosztów ponoszonych na kolejnych etapach fizycznego cyklu życia oraz dążenie do ich minimalizacji, po to by akcentować „ekonomiczność” oferowanych wyrobów¹⁹.

Z punktu widzenia odbiorcy wyrobu prowadzona analiza kosztowa służy jako przesłanka w procesie zakupowym i może dotyczyć zarówno dobra konsumpcyjnego, jak i kapitałowego. Jest więc to kontekst typowo inwestycyjny, związany z ekonomicznym cyklem życia wyrobu czy też całego przedsięwzięcia. Zarówno w przypadku odbiorcy indywidualnego, jak i instytucjonalnego szacunkom podlegają koszty nabycia, posiadania oraz likwidacji. W zależności od obiektu kalkulacji oraz szczegółowości analizy, wyróżnia się różnorakie kategorie kosztowe, licznie opisywane w literaturze. Generalnie w perspektywie klienta indywidualnego wyznacza się koszty zakupu wyrobu, jego użytkowania, utrzymania sprawności oraz końcowego zagospodarowania, natomiast w perspektywie klienta instytucjonalnego koszty fazy inwestycyjnej, operacyjnej oraz likwidacyjnej.

Środowiskowy rachunek kosztów cyklu życia

Nazwa środowiskowy rachunek cyklu życia wyraźnie sugeruje, iż jest to koncepcja w teorii cyklu życia polegająca na włączeniu do analiz kosztowych, często pomijanych w tradycyjnych kalkulacjach, kosztów szeroko pojętej ochrony środowiska, w tym także kosztów ukrytych (*hidden cost*) lub „mniej namacalnych” (*less tangible cost*). Środowiskowego rachunku cyklu życia nie można jednak

¹⁸ J. Kulczycka, *Ekoefektywność projektów inwestycyjnych z wykorzystaniem koncepcji cyklu życia produktu*, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2011, s. 102.

¹⁹ F. Testa, F. Iraldo, M. Frey, R. O'Connor, *Life Cycle Costing, a View of Potential Applications: from Cost Management Tool to Eco-Efficiency Measurement*, www.intechopen.com [16-09-2013].

utożsamiać wyłącznie z narzędziem rachunkowości środowiskowej²⁰. W założeniu, e-LCC ma dużo szerszy wydźwięk i stanowi ekonomiczny odpowiednik środowiskowej oceny cyklu życia LCA²¹.

Technika LCA nie jest adekwatna do szacowania aspektów ekonomicznych, jednak podejście oparte na cyklu życia reprezentowane w metodyce LCA może znaleźć zastosowanie podczas oceny także tego typu aspektów²². Projektując środowiskowy LCC bazowano na ogólnej strukturze proponowanej w ramach grupy norm ISO 14040x, tworząc tym samym z założenia instrument metodycznie kompatybilny z LCA.

W ujęciu definicyjnym e-LCC polega na wyznaczeniu wszystkich kosztów związanych z cyklem życia wyrobu, które bezpośrednio ponoszone są przez jednego lub wielu uczestników tego cyklu, przykładowo dostawców, producentów, użytkowników²³. W tym kontekście pojęcie „bezpośrednio” nie odnosi się do kosztów bezpośrednich funkcjonujących w teorii ekonomii (koszty odnoszone na wybór, bądź inny obiekt kalkulacji na podstawie pomiaru bezpośredniego lub dokumentacji źródłowej²⁴), ale oznacza koszty własne, inaczej wewnętrzne, które ponosi tylko dany podmiot. Przeciwnieństwo stanowią koszty zewnętrzne, które ponosi ten, kto ich nie spowodował, a ich internalizacja nastąpi wówczas gdy ostatecznie obciążą swojego sprawcę²⁵.

W jednej z definicji kosztów cyklu życia podaje się, iż są to „koszty produktu lub usługi występujące podczas całego życia wraz z kosztami zewnętrznymi”²⁶. W przypadku jednak e-LCC zaleca się pomijanie kosztów zewnętrznych ze względu na to, iż e-LCC ma być z założenia korelowane z LCA i to właśnie LCA ma identyfikować i kwantyfikować koszty zewnętrzne (w jednostkach fizycznych), jest więc to działanie mające na celu unikanie podwójnego naliczania tych samych kosztów. Natomiast koszty zewnętrzne zinternalizowane, czyli włączone już do tradycyjnego rachunku kosztów uczestnika cyklu życia (na przykład za pomocą

²⁰ R. Heijungs, E. Settanni, J. Guinee, *Toward a computational structure for life cycle sustainability analysis: unifying LCA and LCC*, „The International Journal of Life Cycle Assessment” 2013 nr 18, t. 19.

²¹ W. Kloepffer, *Life Cycle Sustainability Assessment of Products*, „The International Journal of Life Cycle Assessment” 2008 nr 13(2), s. 89-95.

²² PN-EN ISO 14040: *Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006.

²³ T. E Swarr, D. Hunkeler, W. Kloepffer, H-L. Pesonen, A. Ciroth, A.C. Brent, R. Pagan, *Environmental Life Cycle Costing: A Code of Practice*, SETAC, New York 2011, s. 15.

²⁴ M. Kowalczyk, *Analiza przychodów, kosztów i wyniku finansowego*, w: *Analiza finansowa przedsiębiorstwa*, t. 2, red. M. Kowalczyk, Wyd. Uczelniane Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej, Kalisz 2010, s. 89.

²⁵ T. Żylicz, *Ekonomia wobec problemów środowiska przyrodniczego*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1989, s. 90.

²⁶ J. Kulczycka, M. Góralczyk, *Znaczenie i możliwości stosowania oceny cyklu życia (LCA) i kosztów cyklu życia (LCC) w ekologicznych zamówieniach publicznych. Zielone zamówienia Publiczne*, Urząd Zamówień Publicznych, Warszawa 2009.

opłat środowiskowych²⁷, które często, lecz nie zawsze są składnikiem ceny), traktowane są jako koszty własne i uwzględniane w e-LCC, pomimo iż istnieje ryzyko ich dublowania w analizie LCA²⁸.

W tym miejscu warto również choć pokrótce odnieść się do społecznego LCC, którego rachunek dotyczy nie tylko kosztów ściśle społecznych, ale także zewnętrznych kosztów środowiskowych. Koszty społeczne bazują na idei analizy kosztów i korzyści (CBA) w ujęciu monetarnym, dlatego do tego typu analiz nie powinno się włączać wyników LCA, gdyż oznaczałoby to podwójne naliczanie obciążeń środowiskowych²⁹.

Problematyka integracji aspektów środowiskowych oraz ekonomicznych

W literaturze przedmiotu funkcjonuje wiele podejść do kwestii integracji aspektów ekonomicznych oraz środowiskowych. Jedno z nich zostało uwieńczyte opracowaniem koncepcji zrównoważonej oceny cyklu życia (LSCA), łączącej w sobie trzy wymiary zrównoważonego rozwoju. Środowiskowy rachunek cyklu życia stanowi jeden z jej filarów i odpowiada właśnie za komponent ekonomiczny na poziomie mikro³⁰. Jest to stosunkowo nowe ujęcie, wymagające dalszego doprecyzowania, zwłaszcza w aspekcie praktycznych wskazówek stosowania tego podejścia w przestrzeni gospodarczej.

Procedura integracji LCA oraz e-LCC – propozycja zbioru dobrych praktyk

Środowiskowy rachunek cyklu życia został tak ukształtowany, aby stanowił narzędzie kompatybilne w stosunku do LCA, dlatego jego założenia metodyczne należy rozpatrywać w odniesieniu do tej techniki. Zgodnie z wymaganiami norm, środowiskowa ocena cyklu życia składa się z czterech faz:³¹

- określenia celu i zakresu;
- analizy zbioru wejść i wyjść;
- oceny wpływu cyklu życia;
- interpretacji.

Dla e-LCC ustalono analogiczne kroki proceduralne, a mianowicie:³²

- określenie celu i zakresu;

²⁷ Więcej na temat metod regulacji stanu środowiska można znaleźć między innymi w pracach: B. Fiedor, A. Graczyk, *Instrumenty Ekonomiczne Polityki Ekologicznej*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2006; *Podstawy ekonomii środowiska i zasobów naturalnych*, S. Czaja, B. Fiedor, A. Graczyk, Z. Jakubowicz, Wyd. C. H. BECK, Warszawa 2001.

²⁸ K. G. Shapiro, *Incorporating Costs in LCA*, „The International Journal of Life Cycle Assessment” 2001 nr 6(2), s. 121-123.

²⁹ J. Kulczycka, op. cit., s. 96.

³⁰ J. B. Guinee i in., *Life Cycle Assessment: Past, Present and Future*, „Environmental Science & Technology” 2011 nr 45, s. 90-96.

³¹ PN-EN ISO 14040: *Zarządzanie środowiskowe Ocena cyklu życia. Zasady i struktura*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006.

³² T. E. Swarr, i in., *Environmental Life Cycle Costing: A Code of Practice*, SETAC, New York 2011, s. 51.

- ekonomiczna inwentaryzacja;
- interpretacja i przegląd danych.

Znamienne dla skutecznej korelacji LCA oraz LCC jest uwspólnianie poszczególnych faz, gdyż w ten sposób możliwe staje się osiągnięcie efektu synergii.

Określenie celu i zakresu

W pierwszym kroku badania wymaga się ustalenia spójnych granic systemu oraz identycznej jednostki funkcjonalnej, których wybór niejako determinowany jest już w chwili definiowania celu i zakresu badania. Na tym etapie należy także dokonać wyłączeń z zakresu badania, dbając przy tym o zachowanie spójności systemu wyrobu, co według niektórych specjalistów oznacza nie tyle identyczność systemu, co także jego ekwiwalentność³³. Przykładowo, w uzasadnionych przypadkach dopuszcza się wyłączenie z zakresu badania LCA etapu projektowania wyrobu oraz procesów marketingowych, przy czym z punktu widzenia LCC są to aspekty warte przeanalizowania. Z kolei procesy końcowego zagospodarowania są często pomijane w LCC z powodu ich niewielkiej kosztotwórczości, natomiast stanowią ważny etap z perspektywy środowiskowego cyklu życia. Warto jednak podkreślić, iż każde wyłączenie wprowadza do analizy dodatkową niepewność, dlatego najpełniejszy obraz konsekwencji środowiskowo-kosztowych powstaje wówczas, gdy każdy aspekt rozważany jest dwupłaszczyznowo.

W momencie planowania zintegrowanej analizy LCA/e-LCC pojawia się dodatkowo potrzeba rozstrzygnięcia perspektywy analizy kosztowej. Kwestia ta jest wprawdzie implikowana przez cel oraz zakres badania³⁴, ale nie bez znaczenia pozostaje akceptowalny stopień agregacji danych. Przytoczona wcześniej definicja e-LCC pozwala sądzić, że koszty cyklu życia można rozważać z punktu widzenia pojedynczego uczestnika cyklu życia lub wielu uczestników cyklu życia, w tak zwanym łańcuchu dostaw. W przypadku analizy wybranego etapu cyklu życia, z reguły jest to produkcja (zakres kołyska-brama), sprawa wydaje się być rozstrzygnięta. Analiza kosztowa obejmuje wówczas całkowite koszty producenta, co oznacza koszty wytwarzania wyrobu wraz z kosztami usług posprzedanych (serwisu gwarancyjnego) oraz kosztów unieszkodliwiania, jeśli ma to prawne zastosowanie. Badając cały cykl życia (zakres kołyska-grób) wyznacza się koszty uczestników odpowiedzialnych za główne jego etapy (przykładowo koszty produkcji, użytkowania/eksploatacji, końcowego zagospodarowania) lub całkowite koszty uczestnika etapu, w którym realizowana jest zasadnicza funkcja systemu wyrobu, czyli użytkownika (koszty nabycia, posiadania oraz likwidacji). W pierwszym przypadku analiza kosztów odbywa się w ujęciu rozproszonym, w drugim natomiast koszty przedstawia się w sposób skumulowany. Pierwsze podejście jest wariantem bardziej pracochłonnym, jednak takie zorientowanie analizy wydaje się być najbardziej wartościową wersją integracji LCA oraz LCC,

³³ Ibidem, s. 57.

³⁴ G. Rebitzer, D. Hunkeler, *Life cycle costing in LCM: Ambitions, opportunities, and limitation*, „The International Journal of Life Cycle Assessment” 2003 nr 8(5), s. 253-256.

gdyż umożliwia ocenę niemal każdego aspektu w sposób dwupłaszczyznowy. Wybierając jednak taki sposób analizy należy uwzględnić, że koszt jednego uczestnika jest przychodem dla kolejnego, stąd proste zsumowanie kosztów poszczególnych podmiotów nie jest właściwym rozwiązaniem, ponieważ oznacza podwójne ich naliczanie.

Inwentaryzacja środowiskowo-ekonomiczna

Chcąc dokonać szczegółowej integracji LCA oraz LCC, a więc nie jedynie na zasadzie zestawienia końcowych wyników, należy ją przeprowadzić na poziomie poszczególnych procesów jednostkowych. Dlatego w kolejnym kroku badania, a mianowicie inwentaryzacji danych, należy w pierwszej kolejności wyodrębnić procesy jednostkowe zarówno główne, czyli bezpośrednio związane z realizacją jednostki funkcjonalnej (na przykład procesy technologiczne) oraz pomocnicze – pośrednio związane z realizacją jednostki funkcjonalnej (przykładowo procesy czyszcząco-konserwujące).

Zużycie zasobów rzeczowych może być mierzone ilościowo oraz wartościowo. Ilościowe zużycie zasobów wyraża się w miernikach naturalnych, wartościowy pomiar natomiast następuje za pośrednictwem kosztów³⁵. Dlatego też kolejny krok zintegrowanej analizy LCA/e-LCC polega na zidentyfikowaniu wszelkich przepływów materiałowych i energetycznych w obrębie danego systemu wyrobu oraz przypisaniu im kosztów. W ten sposób każde wejście oraz wyjście odnoszące się do poszczególnych procesów jednostkowych zostanie przedstawione zarówno w wielkości fizycznej, jak i monetarnej³⁶. Dla przepływów wejściowych będą to koszty surowców, materiałów głównych, pomocniczych (materiały eksploatacyjne, środki czyszcząco-konserwujące) oraz energii, natomiast dla wyjść z systemu koszty końcowego zagospodarowania odpadów i ścieków oraz opłaty za wprowadzenie gazów lub pyłów do powietrza. W ten sposób tworzy się system kosztów dopasowany do wymagań metodyki LCA i zgodny z założeniami księgowania ekologicznego³⁷.

Należy podkreślić, iż dla wypełnienia danej jednostki funkcjonalnej niezbędne jest poniesienie także dodatkowych kosztów, które nie mają swojego bezpośredniego odniesienia w analizie środowiskowej, przykładowo pojawiające się na etapie produkcji wyrobu koszty robocizny, koszty odtworzeniowe, koszty przeglądów, podatki. Ich pomiar oraz wycena jest ważna, gdyż korelacja LCA oraz e-LCC nie sprowadza się do ujmowania jedynie kosztów wprost wynikających

³⁵ J. Famielec, M. Stępień, *Informacja ekologiczna w ujęciu finansowym*, Wyd. Akademii Ekonomicznej, Kraków 2005, s. 43.

³⁶ J. Kulczycka, M. Góralczyk, *Znaczenie i możliwości stosowania oceny cyklu życia (LCA) i kosztów cyklu życia (LCC) w ekologicznych zamówieniach publicznych*. Zielone Zamówienia Publiczne, Urząd Zamówień Publicznych, Warszawa 2009.

³⁷ Z. Kowalski, J. Kulczycka, M. Góralczyk, *Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2007.

z analizy środowiskowej³⁸. Alokacji tych interwencji pozaśrodowiskowych można dokonać za pomocą modelu rachunku kosztów działań. Alokacje pozostałych wejść oraz wyjść systemu wyrobu można przeprowadzić wykorzystując typową procedurę na bazie zależności fizycznych.

Ocena wpływu cyklu życia

W literaturze przedmiotu podaje się, iż trzecia faza badania LCA, a mianowicie ocena wpływu cyklu życia, nie ma swojego odpowiednika w analizie e-LCC. Jest to niewątpliwie punkt procedury, w którym występują najistotniejsze rozbieżności, co wynika bezpośrednio z samego charakteru wskaźników LCA oraz e-LCC, jak i procesu ich szacowania. Poniżej przedstawiono obowiązkowe kroki trzeciej fazy badania LCA oraz odniesiono je do punktów analizy kosztowej LCC.

Jednym z pierwszych elementów w procedurze oceny wpływu cyklu życia jest klasyfikacja i określa się ją jako przypisanie danych LCI ówczasie wybranym kategoriom wpływu³⁹. W przypadku LCC klasyfikacja oznacza podział kosztów według ustalonych kryteriów i wykonuje się ją automatycznie na wcześniejszym etapie procedury. Kategorie kosztowe definiowane są z reguły już w momencie ustalania celu oraz zakresu badania (definiowanie elementów kosztu), a swoje odzwierciedlenie znajdują poniekąd w strukturze podziału wyrobu (PBS). Sklasyfikowanym uprzednio kosztom przypisuje się następnie parametry cenowe (na przykład kosztom robocizny stawek brutto za roboczogodzinę, kosztom energii stawek za 1 kWh energii elektrycznej), które mogą stanowić odpowiednik środowiskowych wskaźników szkodliwości (parametrów charakteryzowania).

Zasadniczym elementem oceny wpływu cyklu życia jest szacowanie wskaźnika LCIA zwane charakteryzowaniem. Charakteryzowanie opiera się na akceptowanych naukowo mechanizmach środowiskowych i polega na przekształceniu wyników LCI na ogólną jednostkę wskaźnika kategorii za pomocą odpowiedniego parametru pochodzącego z modelu charakteryzowania. Jest to proces skomplikowany, także pod względem operacji matematycznych, dlatego wspomagany jest poprzez wykorzystanie specjalnych oprogramowań komputerowych.

Szacowanie wskaźnika LCC odbywa się w sposób dużo bardziej uproszczony i sprowadza się do przemnożenia danych inwentarzowych przypisanych procesom jednostkowym przez ich jednostkowy współczynnik kosztocłonności oraz wyceny pozostałych kosztów cyklu życia, które nie wynikają wprost z modelu księgowania ekologicznego. Krok ten wykonywany jest także na drugim etapie badania, a mianowicie ekonomicznej inwentaryzacji danych LCI. Samo oszacowanie kosztów to jednak za mało, elementem obowiązkowym w procedurze po-

³⁸ G. Rebitzer, *Integrating Life Cycle Costing and Life Cycle Assessment for Managing Costs and Environmental Impacts in Supply Chains*, w: *Cost Management in Supply Chains*, eds. S. Seuring, M. Goldbach, Physica-Verlag, Heidelberg 2002, s. 133.

³⁹ PN-EN ISO 14040: *Zarządzanie środowiskowe, ocena cyklu życia. Zasady i struktura*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006.

stępowania w analizie LCC jest modelowanie profilu kosztów⁴⁰ i stanowi kolejną rozbieżność pomiędzy analizowanymi technikami. O ile jednak parametry charakteryzowania, ustalane dla interwencji środowiskowych wchodzących w zakres poszczególnych kategorii wpływu w ramach danej metody LCIA są wspólne dla wszystkich analizowanych produktów, o tyle wskaźniki kosztowości mogą być odmienne nawet nie tylko w odniesieniu do analizowanych produktów, ale także różnych miejsc realizacji poszczególnych procesów jednostkowych w jednym systemie wyrobu. Zużycie po 1 kg tego samego rodzaju polietylenu w dwóch odmiennych procesach jednostkowych będzie miało taki sam wpływ środowiskowy w zakresie ubożenia zasobów abiotycznych, ale może mieć inny wskaźnik kosztowy ze względu na odmienną cenę surowca nabywanego od dostawcy oraz na inną stawkę wynagrodzenia pracowników zatrudnionych w obu miejscach.

Tradycyjnie uznaje się, iż wskaźnik LCC jest *sumą zdyskontowanych kosztów* cyklu życia, co oznacza konieczność wyznaczania bieżącej wartości kosztów pojawiających się w przyszłości. W przypadku analiz LCA zauważa się próby dyskontowania szkód środowiskowych, jednak zasadność oraz względy etyczne takiego postępowania wzbudzają sporo kontrowersji⁴¹. W literaturze przedmiotu spotyka się głosy, że korelując techniki LCA oraz e-LCC należy uczynić analizę ekonomiczną typu *steady state*⁴². Większość jednak specjalistów opowiada się za dyskontowaniem wskaźników e-LCC zwłaszcza dla obiektów o długich cyklach życia, pomimo iż powoduje to pewną niespójność metodyczną. Kwestią do rozstrzygnięcia pozostaje ustalenie odpowiedniego poziomu stopy dyskontowej. Komisja Europejska rekomenduje wykorzystanie realnej stopy dyskontowej na poziomie 5%, niekiedy także zaleca się przyjęcie jako punktu odniesienia rentowności *obligacji*. Zgodnie z wytycznymi zespołu naukowców zajmujących się tematyką e-LCC (*the SETAC-Europe Working Group on Life Cycle Costing*), z punktu widzenia producenta stopę dyskontową warto wyznaczyć metodą średnioważonego kosztu kapitału, z perspektywy nabywcy natomiast na podstawie wysokości oprocentowania kredytu. Dla projektów długoterminowych (powyżej 30 lat) zaleca się przyjęcie stopy dyskontowej na poziomie 0,01%⁴³. Te oraz pozostałe elementy metodyczne różniące LCA oraz e-LCC przedstawiono poniżej (tabela 2). Wymienione rozbieżności nie dyskwalifikują paralelnego wykorzystania tych narzędzi, stanowią jedynie dowód na to, iż dotyczą one tego samego problemu widzianego z perspektywy dwóch różnych aspektów.

⁴⁰ M. Rausand, *Life Cycle Costs (LCC) analysis in oil and chemical process industry*, www.toyo-eng.co.jp [15-09-2013].

⁴¹ S. Hellweg, T.B. Hofstetter, K. Hungerbühler, *Discounting and the Environment*; „The International Journal of Life Cycle Assessment” 2003 nr 8(1), s. 8-18.

⁴² E. Settann, *LCA-type Life Cycle Cost Analysis: methodology outlines and application to energy production and asphalt recycling*, www.ambienteditto.it [15-09-2013].

⁴³ T. E. Swarr, i in., op. cit., s. 71.

Tabela 2
LCA oraz e-LCC – podstawowe rozbieżności metodyczne

Element metodyki	LCA	e-LCC
Aspekty podlegające analizie	Każde działanie, które wiąże się z powstaniem potencjalnego wpływu na środowisko	Każde działanie, które wiąże się z wygenerowaniem kosztu
Przepływy (wejścia, wyjścia)	Zasoby naturalne, materiały, paliwa, energia, emisje do powietrza, emisje do wody, emisje do gleby, odpady stałe	Koszty bezpośrednio oraz pośrednio związane z jednostką funkcjonalną
Jednostki	Wielkości fizyczne	Wielkości monetarne
Kategorie wpływu	Kategorie reprezentujące rozpatrywane kwestie środowiskowe (na przykład globalne ocieplenie, choroby układu oddechowego) modelowane w oparciu o mechanizm generowania danego problemu środowiskowego	Kategorie reprezentujące rozpatrywane kwestie kosztowe (na przykład koszty wynagrodzenia, koszty zużycia materiałów) modelowane w oparciu o mechanizm generowania danej kategorii kosztów
Parametry charakteryzowania	Parametry wskazujące na szkodliwość środowiskową interwencji środowiskowych	Parametry wskazujące na kosztotwórczość interwencji środowiskowych oraz pozaśrodowiskowych
Wynik wskaźnika	Stanowi skumulowaną wartość bagażu środowiskowego Wskaźnik ten odzwierciedla oddziaływania środowiskowe-koszty zewnętrzne związane z realizacją jednostki funkcjonalnej przez system wyrobu	Stanowi skumulowaną wartość zdyskontowanych kosztów Wskaźnik ten odzwierciedla strukturę kosztową – koszty prywatne związane z realizacją jednostki funkcjonalnej przez system wyrobu
Interpretacja wyniku wskaźnika	Im wyższy dodatni wynik wskaźnika środowiskowego, tym większe negatywne oddziaływanie na środowisko Kierunek doskonalenia – minimalizowanie wyniku	Im wyższy dodatni wynik wskaźnika kosztowego, tym większe ponoszone koszty Kierunek doskonalenia – minimalizowanie wyniku
Kroki proceduralne	LCA	e-LCC
Klasyfikowanie	Przypisanie danych inwentarzowych kategoriom wpływu	Wyodrębnienie kosztów według określonych kryteriów
Szacowanie wielkości wskaźnika	Modelowanie profilu środowiskowego odbywa się w oparciu o akceptowane naukowo mechanizmy środowiskowe	Modelowanie profilu kosztu odbywa się w oparciu o parametry finansowe: w cenach stałych lub bieżących (z uwzględnieniem wskaźników inflacji)
Dyskontowanie	Krok nie zalecany przez większość specjalistów z zakresu LCA	Obowiązkowy krok w procedurze analitycznej LCC (rachunek dyskontowy jest elementem modelowania profilu kosztu)
Ważenie	Krok opcjonalny, polegający na przekształceniu wartości wskaźnika różnych kategorii wpływu za pomocą parametrów liczbowych (mnogość problemów środowiskowych powoduje, iż wskaźniki poszczególnych kategorii wpływu oraz szkody wyrażone są w różnych jednostkach)	Krok zbędny w procedurze analitycznej LCC, z tego względu, iż każda rozpatrywana kategoria wyrażona jest w tej samej jednostce pieniężnej

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Z. Foltynowicz, K. Joachimiak, *Life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC) as examples of tools for assessing the paper production process*, Technology and Innovation for a Sustainable Future: a Commodity Science Perspective: 18th IGWT Symposium, Rzym 2012, s. 1-10.

Interpretacja i raportowanie

Znanych jest wiele technik interpretacji wyników, LCA oraz LCC. Przed przystąpieniem do tej fazy badania warto dokonać pogrupowania otrzymanych wskaźników czyli łączenia ich w określone zbiory. W przypadku LCA wyniki poszczególnych kategorii wpływu przypisuje się z reguły czterem grupom oddziaływań: zdrowiu ludzkiemu, jakości ekosystemów, zmianom klimatu oraz zasobom naturalnym. Dane modeli LCC natomiast warto dzielić na określone grupy typu: koszty stałe i zmienne, bezpośrednie i pośrednie, powtarzające się i niepowtarzające się, lub według uczestników cyklu życia⁴⁴.

Kończąc ustalanie wielkości oddziaływań środowiskowych oraz kosztowych cyklu życia należy dokonać spójnej oceny jakości danych, gdyż na tej podstawie można określić niepewność otrzymanych wyników. W tym celu można wykorzystać metodę półilościową opartą na tak zwanej macierzy pochodzenia (*Pedigree Matrix*). Zebrane dane modelu LCI oraz LCC należy ocenić przez pryzmat tych samych kryteriów, a mianowicie: solidności, kompletności, zakresu czasowego, geograficznego oraz technologicznego⁴⁵. Następnie po wprowadzeniu docelowych wskaźników jakości oraz ustaleniu rzeczywistej jakości danych otrzymuje się wskaźnik dystansu jakościowego⁴⁶.

Określając niepewność wyników można posłużyć się także podejściem typowo ilościowym wykonując symulację Monte Carlo oraz przeprowadzając analizę wrażliwości. Analiza wrażliwości jest o tyle istotna, gdyż pozwala wyznaczyć niepewność wyniku nie przez pryzmat użytych danych, lecz wyborów założeń. W przypadku LCA może dotyczyć ona zmian horyzontu czasowego, zasad alokacji, współczynników ważenia a także założeń samego modelowania. W przypadku LCC z kolei analiza wrażliwości skupia się przede wszystkim na głównych nośnikach kosztowych oraz przyczynach (czynniki kosztotwórcze) jak i założeniach dotyczących zmian wartości pieniądza w czasie⁴⁷.

Oprócz technik dotyczących oceny wiarygodności otrzymanych wyników warto także sięgnąć po inne techniki numeryczne, jak chociażby identyfikacja znaczących kwestii (analiza udziału, zwana też analizą dominacji), czy analiza rozróżnialności. W kontekście interpretacji wyników skorelowanej analizy LCA oraz LCC warto także wyznaczyć wskaźnik efektywności z wykorzystaniem metody opracowanej przez BASF oraz Öko-Institut⁴⁸. Jednym z kroków w tej me-

⁴⁴ PN-EN 60300-3-3: *Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Szacowanie kosztu cyklu życia*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006.

⁴⁵ A. Ciroth, *Cost data quality considerations for eco-efficiency measures*, „Ecological Economics” 2009 nr 68, s. 1583-1590.

⁴⁶ A. Lewandowska, Z. Foltynowicz, A. Podleśny, *Comparative LCA of Industrial Objects. Part 1: LCA data quality assurance – sensitivity analysis and Pedigree Matrix*, „The International Journal of Life Cycle Assessment” 2004 nr 9(2), s. 86-89.

⁴⁷ B. S. Blanchard, *Logistic Engineering and Management*, Pearson Education, New Jersey 2004.

⁴⁸ A. Kicherer, S. Schaltegger, H. Tschochohei, B. F. Pozo, *Eco-efficiency Combining Life Cycle Assessment and Life Cycle Costs via Normalization*, „The International Journal of Life Cycle Assessment” 2007 nr 12(7), s. 537-543.

todyce jest normalizacja wyników, który to proces umożliwia otrzymanie wskaźnika bezwymiarowego. Ważne jest jednak ustalenie spójnego czasowo i przestrzennie strumienia normalizacyjnego dla LCA oraz LCC.

Bariery oraz trudności korelacji LCA oraz e-LCC

Korelacja technik typu LCA oraz e-LCC, pomimo że są one swoimi metodycznymi odpowiednikami, napotyka na pewne bariery i trudności, które wynikają z natury aspektów środowiskowych oraz ekonomicznych. Celem niniejszego artykułu nie jest ich szczegółowe rozważanie, warto jednak zasygnalizować pewne problemy.

W badaniach LCA wskaźniki szkodliwości środowiskowej (parametry charakteryzowania) określane są dla strumieni elementarnych, które stanowią elementy wymiany pomiędzy systemem wyrobu, a środowiskiem. W praktyce w systemie wyrobu znajdują się nie tylko strumienie elementarne, ale dochodzi także do przepływu materiałów i energii pomiędzy technosferą (systemami innych wyrobów). W celu obliczenia wpływu na środowisko wejścia i wyjścia z technosfery muszą zostać rozłożone na strumienie elementarne, bo tylko w takiej postaci mogą podlegać charakteryzowaniu. W przypadku LCC takie podejście byłoby zbyt pracochłonne dlatego „kosztowe” parametry charakteryzowania przypisuje się elementom wymiany z technosferą, a nie poszczególnym strumieniom elementarnym, co stwarza ryzyko przeszacowania kosztów związanych z procesami procesów typu upstream (przykładowo wydobywania surowców, produkcji materiałów i komponentów produkcyjnych).

Kolejny problem stanowi pomijanie fizycznego zużycia kapitału trwałego w badaniach LCA. Amortyzacja stanowi ważny składnik analiz kosztowych, zwłaszcza w aspekcie zaawansowanych technologicznie procesów produkcyjnych. Konsekwencją tej niespójności jest także kwestia ujmowania wartości rezydualnej analizowanych obiektów. W przypadku analiz porównawczych złożonego systemu wyrobu (obiektów o różnej długości cyklu życia) pojawia się konieczność uwzględnienia wartości rezydualnej modułów o dłuższej żywotności. Innymi słowy, w kontekście LCA trudność stanowi wybór metody, która zniwelowałaby tę nierównowagę w aspekcie długości cyklu życia.

Podsumowanie

Zrównoważona ocena cyklu życia jest jedną z koncepcji integracji aspektów środowiskowych oraz ekonomicznych, która bazuje na strukturze konceptualnej środowiskowej oceny cyklu życia. W teorii ekonomii funkcjonuje wiele modeli kosztów cyklu życia, jednak ze względu na liczne niespójności, włączenie kosztów w badanie LCA wymagało opracowania nowego narzędzia dopasowanego do założeń metodycznych tej techniki. W ten sposób powstał „siostrzany” odpowiednik LCA – środowiskowy rachunek cyklu życia (e-LCC), który ujmuje ekolo-

giczny cykl życia, charakteryzuje się podejściem procesowym oraz bazuje na funkcyjności systemu wyrobu i jednostce funkcjonalnej.

W kontekście korelacji technik cyklu życia, obok rozbieżności, które są naturalną konsekwencją ich specyfiki, zasadniczym problemem wydaje się być dyskutowanie, które bezwzględnie obowiązuje w analizach ekonomicznych, w środowiskowych natomiast stanowi sporny przedmiot dyskusji. Kolejną kwestią do rozstrzygnięcia są granice systemu pomiędzy LCA i LCC, które muszą być tak zdefiniowane, aby nie dochodziło do podwójnego naliczania kosztów. Można by jednak uznać, iż sama definicja e-LCC problem rozwiązuje poprzez wskazanie, iż analizą należy objąć jedynie koszty bezpośrednie, w tym także zinternalizowanie. Na tym polu wyraźnie uwidacznia się efekt synergii wynikający z integracji LCA oraz LCC. Mianowicie analiza środowiskowa zostaje uzupełniona o aspekty kosztowe, które często stanowią ważniejsze kryterium podejmowania decyzji, a w rezultacie obowiązek szacowania kosztów zewnętrznych, przypisany rachunkom kosztów cyklu życia, zostaje wypełniony przez LCA, technikę, która jest w tym zakresie bardziej adekwatna.

W ramach kierunku rozwoju zarządzania cyklem życia wyrobu wyraźnie rośnie zainteresowanie kombinacją LCA oraz e-LCC. Zintegrowane wykorzystanie tych technik w przestrzeni gospodarczej jest wartościowym podejściem, gdyż taka holistyczna analiza cyklu życia służy realizacji idei zrównoważonego rozwoju oraz wspiera doskonalenie procesów, wyrobów oraz usług.