

NITKIEWICZ Tomasz¹
STAROSTKA-PATYK Marta²

Logistyka produktów niepełnowartościowych w ujęciu ekologicznej oceny cyklu życia – przykład telefonu komórkowego

WSTĘP

Zagospodarowanie produktów niepełnowartościowych stanowi jedno z kluczowych zagadnień logistyki odwrotnej. Występuje wiele możliwych scenariuszy dla zagospodarowania produktów niepełnowartościowych, które będą zróżnicowane zarówno pod względem technicznym i organizacyjnym, ekonomicznym jak i środowiskowym. Problematyka zagospodarowania produktów niepełnowartościowych jest szczególnie istotna w tych sektorach przemysłu, w których wartość produktu i jego komponentów jest duża, podobnie jak nakłady produkcyjne potrzebne do jego wytworzenia. W związku z tym, problematyka ta od dawna stanowi przedmiot prac badawczych i wdrożeniowych. Przegląd dorobku naukowego z zakresu możliwych scenariuszy zagospodarowania produktów niepełnowartościowych przeprowadzili Ilgin i Gupta [1]. Zagospodarowanie produktów niepełnowartościowych stanowi istotny element badań powiązanych m.in. z zamkniętymi łańcuchami dostaw [2], ekologiczną optymalizacją cyklu życia produktów [3], planowaniem strategicznym w zakresie ponownego wytwarzania [4]. Powyższe studia o charakterze koncepcyjnym są uzupełniane przez studia przypadków [5,6].

1. ISTOTA EKOLOGICZNEJ OCENY CYKLU ŻYCIA

Jednym z narzędzi analitycznych, których wykorzystanie może wydatnie wspomóc stosowane w przedsiębiorstwach rozwiązania logistyki zwrotnej jest ekologiczna ocena cyklu życia. Ekologiczną ocenę cyklu życia (z ang. *life cycle assessment* - LCA) należy zaliczyć do instrumentów kompleksowych i wielowymiarowych. Jest to narzędzie, które wiąże się ściśle z działalnością przemysłowo--wytwórczą człowieka i dotyczy przede wszystkim oceny oddziaływania tej działalności na środowisko. LCA polega na wyznaczeniu oddziaływania na środowisko cyklu życia danego wyrobu, usługi, procesu czy organizacji [7]. Należy podkreślić, że LCA stanowi jedno z narzędzi zarządzania środowiskowego, spełniając rolę przede wszystkim w zakresie zasilania informacyjnego procesów decyzyjnych. LCA może funkcjonować zarówno jako samodzielne narzędzie identyfikacji kluczowych kwestii środowiskowych w przedsiębiorstwie, jak również jako integralna część systemu zarządzania środowiskowego [8]. Funkcjonując w ramach systemu zarządzania środowiskowego, może być wykorzystywana do identyfikacji i oceny aspektów środowiskowych, począwszy od wstępnego przeglądu środowiskowego aż po system monitoringu i opracowywanie rozwiązań dla ciągłego doskonalenia organizacji [9, 10, 11, 12].

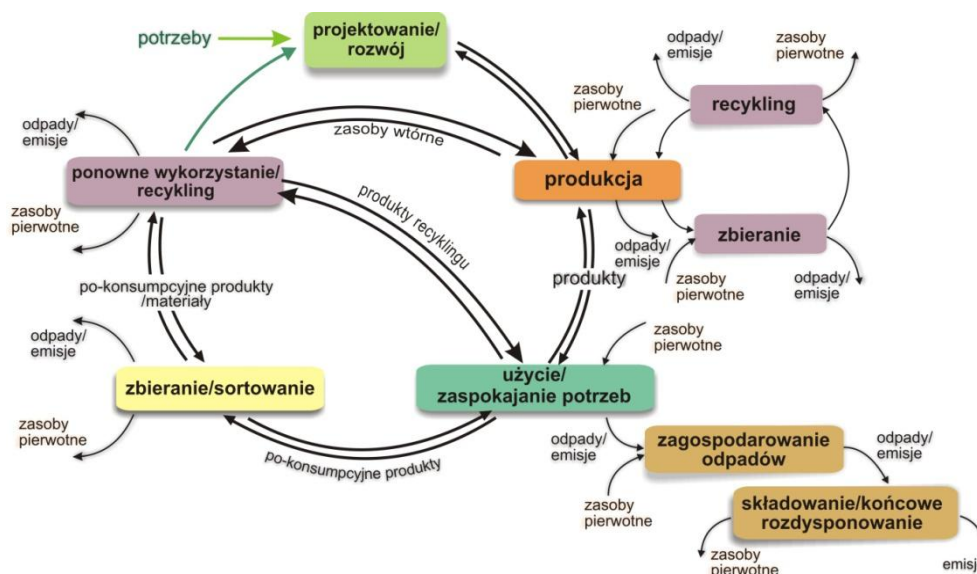
Kompleksowość LCA wiąże się z oceną tego oddziaływania w całym cyklu, tj. począwszy od fazy projektowej aż po zagospodarowanie odpadów i pozostałości z tego cyklu. Fizyczne przepływy materiałowe są przekształcane na wskaźniki oddziaływania - presji na środowisko. Podstawowym celem zastosowania tego instrumentu jest ocena tej presji oraz zidentyfikowanie możliwości jej zmniejszenia lub też wybór wariantu, który gwarantuje jej minimalizację [13].

Kompleksowość LCA wiąże się także z liczbą faz w cyklu życia tą oceną objętych oraz ich wzajemnym powiązaniem i pętlami zwrotnymi występującymi pomiędzy nimi. Na rysunku 30 przedstawiono uproszczony schemat koncepcji cyklu życia wyrobów wraz ze wskazaniem powiązań i pętli występujących pomiędzy poszczególnymi fazami. Strzałki przedstawiają przepływy

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Zarządzania, 42-200 Częstochowa; Al. Armii Krajowej 19B; tel. +48 343250484, tomaszn@zim.pcz.pl

² Politechnika Częstochowska, Wydział Zarządzania, 42-200 Częstochowa; Al. Armii Krajowej 19B; tel. +48 343250275, mart.s.patyk@gmail.com

materiałowe i energii oraz przepływy informacyjne. Metoda LCA stwarza podstawy do identyfikacji i hierarchizacji wpływów na środowisko oraz do ustalenia sposobów poprawy jakości środowiska. Zasadniczym założeniem LCA jest badanie aspektów środowiskowych oraz wpływów cyklu życia wyrobu, pojawiających się w czasie każdej z jego faz, tj. [14, s. 91]: fазie przedprodukcyjnej (projektowanie, wydobywanie surowców, produkcja materiałów, podzespołów i energii), produkcyjnej (produkcja wyrobu) i poprodukcyjnej (dystrybucja, użytkowanie, utylizacja, zagospodarowanie, recykling wyrobu lub jego pozostałości). Pełne objęcie faz w cyklu życia umożliwia również prowadzenie analiz zagospodarowania produktu po zakończeniu jego użytkowania, a także przywracania mu użyteczności.



Rys. 1. Schematyczna prezentacja cyklu życia produktu [7]

Zastosowanie LCA do oceny logistyki produktów niepełnowartościowych w przedsiębiorstwach pozwoli na identyfikację głównych źródeł zagrożeń środowiskowych, a przede wszystkim na ocenę porównawczą różnych wariantów organizacji obsługi zwróconych produktów [15].

2. SCENARIUSZE ZAGOSPODAROWANIA PRODUKTU NIEPEŁNOWARTOŚCIOWEGO W UJĘCIU EKOLOGICZNEJ OCENY CYKLU ŻYCIA

Dla zilustrowania możliwych scenariuszy zagospodarowania produktu niepełnowartościowego wykorzystano przykład telefonu komórkowego. W związku z tym, iż celem jest zaprezentowanie różnych scenariuszy zagospodarowania produktów niepełnowartościowych w ujęciu ekologicznej oceny cyklu życia, wybrano prosty model telefonu komórkowego. Wybrany model telefonu ma jedynie możliwości wykonywania rozmów oraz wysyłania krótkich wiadomości tekstowych ale nie ma wbudowanego aparatu fotograficznego, rozszerzalnej pamięci operacyjnej ani systemu operacyjnego. Szczegółową analizę takiego modelu, przy wykorzystaniu ekologicznej oceny cyklu życia przeprowadzili Sangprasert i Pharino [6]. Zaprezentowane przez nich dane wykorzystano do dokonania inwentaryzacji przepływów materiałowych i energetycznych w cyklu życia telefonu. Dane te uzupełniono założeniami odnośnie przebiegu scenariuszy zagospodarowania telefonu w przypadku jego zwrotu przez klienta. Rozpatrywano następujące scenariusze dla telefonu komórkowego:

1. Ponowne wykorzystanie

W tym scenariuszu zwrócony telefon nie posiada wad dyskwalifikujących go jako pełnowartościowy produkt. Jego funkcjonalność zostaje poddana ocenie, a jeżeli ta ocena wypadnie pomyślnie, produkt jest pakowany i ponownie wraca na rynek pierwotny lub wtórny. Poza operacjami kontrolnymi, przepakowaniem oraz operacjami logistycznymi nie wykonuje się żadnych operacji w tym scenariuszu.

2. Odnawianie produktu

W tym scenariuszu zwrócony produkt posiada wady, które uniemożliwiają spełnianie jego funkcji. Te wady są możliwe do usunięcia bez naruszania integralności produktu. Realizacja tego scenariusza wiąże się rozłożeniem produktu na komponenty, wykonaniem operacji naprawczych na uszkodzonych komponentach, wymianą komponentów oraz ponownym złożeniem produktu. Scenariusz kończy się sprawdzeniem funkcjonalności produktu, ponownym zapakowaniem oraz obsługą logistyczną celem powrotu produktu na rynek kanałem pierwotnym lub wtórnym.

3. Ponowne wytwarzanie przy wykorzystaniu istniejących komponentów

Ten scenariusz zakłada, że produkt posiada wady uniemożliwiające spełnianie jego funkcji i na tyle istotne, że jego odnowienie jest niecelowe. W tym scenariuszu dokonuje się tylko przeglądu komponentów, a wybrane z nich skierowuje się do procesu wytwórczego produktów nowych. W dalszej kolejności powtarza się cały cykl produkcyjny.

4. Odsprzedaż komponentów

Podobnie jak w poprzednim scenariuszu, tak i tutaj zakłada się występowanie wad w produkcji, które uniemożliwiają realizację jego funkcji oraz jego odnowienie. Zakłada się również, że wykorzystanie komponentów z uszkodzonego produktu jest zbyt ryzykowne i odsprzedaje się je na rynku wtórnym, po zweryfikowaniu ich funkcjonalności.

5. Odzysk materiałów

W tym scenariuszu zakłada się, że ani zwrócony produkt, ani jego komponenty nie posiadają żadnej funkcjonalności. W tym scenariuszu prowadzi się jedynie odzysk materiałów, które mogą być wykorzystane w cyklu produkcyjnym lub też stanowią wartościowy surowiec na rynku.

6. Złomowanie

W tym scenariuszu zakłada się, że produkt zostaje bezpośrednio złomowany po tym, jak został zwrócony i została stwierdzona jego nieprzydatność we wszystkich wcześniejszych scenariuszach.

Aby zachować pełną przejrzystość przedstawianego przykładu zaproponowano uwzględnienie w produkcji jedynie czterech komponentów składowych: obudowy telefonu, kasety z wyświetlaczem, obudowy kasety oraz baterii. Dodatkowo założono, że tylko jeden z tych komponentów ulega awarii w scenariuszach 2, 3 i 4.

Badanie LCA rozpoczyna się od zdefiniowania jednostki produktu poddanej analizie, czyli tzw. jednostki funkcjonalnej. Jednostką funkcjonalną badania jest cykl życia telefonu komórkowego obejmujący jego wyprodukowanie oraz 6 różnych scenariuszy jego zagospodarowania w przypadku zwrotu przez klienta. Cykl życia nie obejmuje fazy użytkowania telefonu. Jak już wspomniano telefon składa się z 4 komponentów. Do przeprowadzenia oceny wykorzystano dane przedstawione przez Sangprasert i Pharino [6] oraz dane z bazy Ecoinvent 3 dla opisanego scenariuszy zagospodarowania produktu niepełnowartościowego zgodnie z przedstawionymi powyżej założeniami dla każdego ze scenariuszy. Wskaźniki oceny wpływu wyliczono przy pomocy oprogramowania SimaPro 8.

Do oceny wpływu wykorzystano metodę Eco-indicator'99. Wybór tej metody do oceny wpływu cyklu życia wiąże się z tym, że wskaźnik ten odnosi swoje mechanizmy obliczeniowe do obszaru Europy, co pozwala na prowadzenie rzetelnych ocen również w Polsce. Zastosowanie metody prowadzi do wyliczenia jednego wskaźnika punktowego dla maksymalnego uproszczenia interpretacji czy wykorzystania wskaźnika dla celów porównawczych. Wskaźnik ten, nazywany ekowskaźnikiem, jest wyrażany w punktach [Pt] lub ich podwielokrotności, np. milipunktach [mPt]³. Na wartość ekowskaźnika składają się ważone wartości trzech kategorii szkód [16]:

- szkody dla zdrowia ludzkiego, wyrażone w liczbie utraconych lat życia oraz liczbie lat życia w niepełnosprawności,
- szkody dla jakości ekosystemu, wyrażone w liczbie utraconych gatunków roślin i zwierząt w określonym czasie i obszarze,

³ Wartość 1 Pt wylicza się poprzez podzielenie całkowitego obciążenia środowiska w Europie przez liczbę mieszkańców i pomnożenie przez 1000 (czynnik skali); jego wartość stanowi zatem jedną tysięczną rocznego obciążenia środowiska przypadającą na jednego mieszkańca Europy.

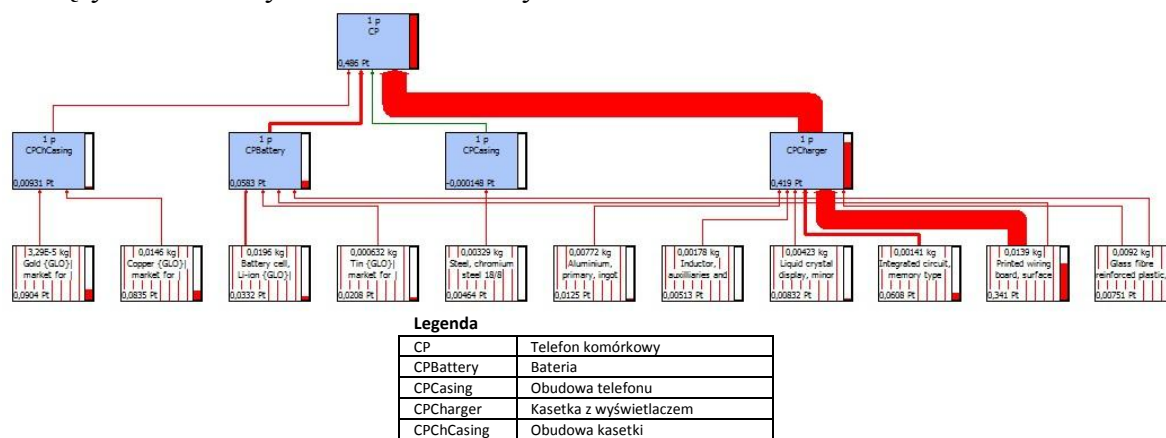
– szkody dla zasobów, wyrażone w nadwyżce energii potrzebnej do przyszłego wydobycia minerałów i paliw.

W metodzie Eco-indicator'99 wskaźniki kategorii szkody są wyznaczone na podstawie 11 wskaźników kategorii wpływu. Są to [16]:

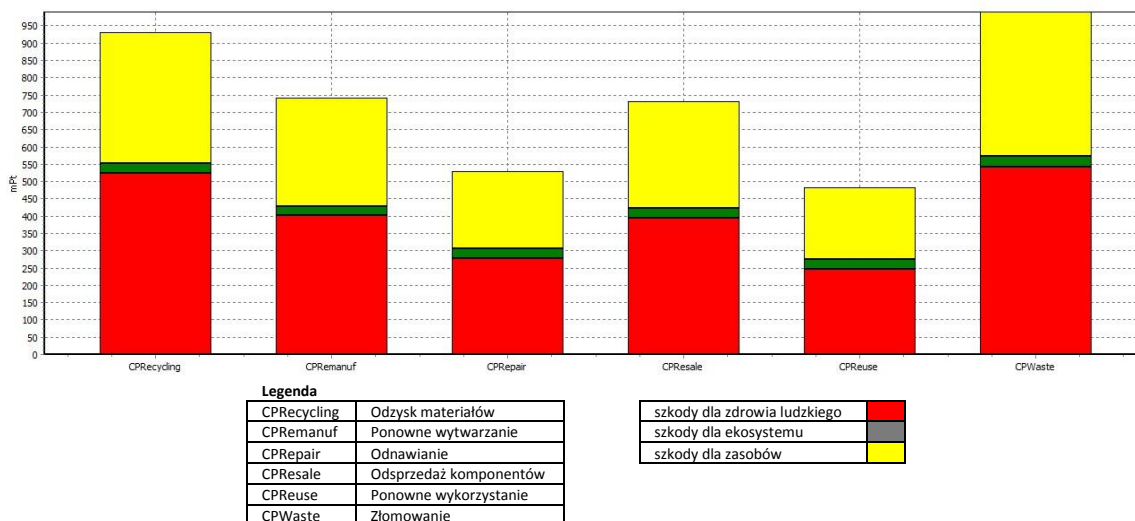
- koncentracja substancji rakotwórczych,
- choroby układu oddechowego powodowane przez czynniki organiczne,
- choroby układu oddechowego powodowane przez czynniki nieorganiczne,
- zmiana klimatu,
- promieniowanie jonizujące,
- zubożenie warstwy ozonowej,
- koncentracja substancji toksycznych,
- zakwaszenie i eutrofizacja,
- wykorzystanie powierzchni ziemi,
- wydobycie minerałów,
- wydobycie paliw kopalnych.

Z kolei wartość wskaźników kategorii wpływu jest wyliczana na podstawie przepływów materiałowych i energetycznych oraz emisji zanieczyszczeń i odpadów w cyklu życia badanego produktu. Wyliczanie oddziaływania środowiskowego na podstawie przepływów w cyklu życia odbywa się przy wykorzystaniu ściśle określonych przeliczników zgodnie z propozycjami autorów tej metody [17], które są zachowane w oprogramowaniu wykorzystanym do ich wyliczenia. Jak już wspomniano powyżej, metoda ta pozwala na wyznaczenie poziomu emisji i oddziaływań występujących w danym cyklu (krok 1), ich wpływu na środowisko i człowieka (krok 2) oraz ich agregacji do wskaźników szkody i ekowskaźnika (krok 3). Opracowana metodologia pozwala na automatyczne przypisywanie poszczególnych rodzajów emisji i oddziaływań do konkretnych kategorii wpływu i szkód. Konstrukcja metody oraz oprogramowanie wspomagające jej wykorzystanie pozwalają na dostosowanie mechanizmu alokacji oraz sposobu rozlokowania wpływów do indywidualnego przypadku, zwłaszcza jeżeli różni się od sytuacji standardowej.

W pierwszym kroku przedstawiono ocenę wpływu telefonu, bez uwzględniania scenariuszy zagospodarowania go w przypadku zwrotów (Rys. 2). Grubość przedstawiony na rysunku linii symbolizuje udział poszczególnych komponentów i wykorzystanych do ich konstrukcji materiałów w wartości ekowskaźnika. Największy udział w oddziaływaniu środowiskowym cyklu życia telefonu ma konstrukcja kasetki z wyświetlaczem, która obejmuje wszystkie układy elektroniczne w telefonie. Pozostałe komponenty mają zdecydowanie mniejszy udział, przy czym jest on znaczący dla baterii a nieznaczny dla obudowy telefonu i obudowy kasetki.



Rys. 2. Udziału komponentów telefonu komórkowego w wartości ekowskaźnika

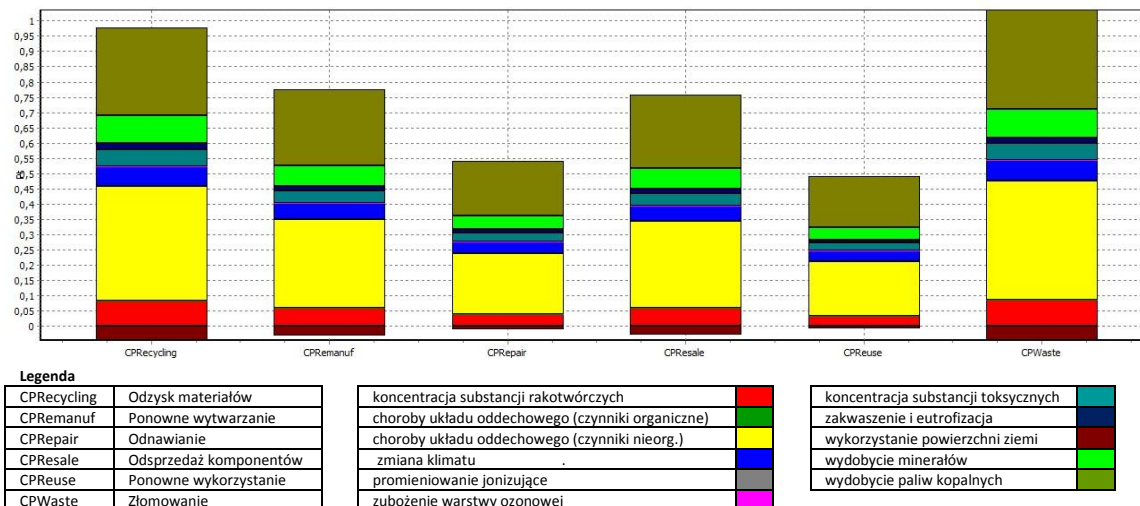


Rys. 3. Wskaźniki w kategoriach szkody dla cyklu życia telefonu komórkowego i 6 scenariuszy zagospodarowania produktów niepełnowartościowych

Rys. 3 przedstawia wartości wskaźników wyrażonych w 3 kategoriach szkody dla cyklu życia telefonu komórkowego wraz z 6 różnymi scenariuszami ich zagospodarowania w przypadku wystąpienia zwrotu. Wartości wskaźników są wyliczone przy założeniu standardowej alokacji w metodzie Eco-indicator'99. Wartości wskaźników kategorii szkody sumują się do wartości ekowskaźnika. Najbardziej szkodliwy jest cykl życia telefonu przy założeniu jego złomowania po zwrocie. Wiąże się to z tym, iż w tym scenariuszu nie przewidziano żadnych operacji odzyskiwania materiałów ani ponownego wykorzystania telefonu jego komponentów. Bardzo zbliżony wynik uzyskano dla scenariusza odzyskiwania materiałów, co wiąże się z tym, iż nie udaje się zwrócić ani telefonu ani jego komponentów na rynek i trzeba go zastąpić nowym modelem, co nie jest rekompensowane przez odzyskane materiały konstrukcyjne. Bardzo zbliżone wyniki uzyskano dla scenariuszy ponownego wytwarzania telefonu przy wykorzystaniu istniejących komponentów oraz odsprzedaży działających komponentów. Wiąże się to z przyjętym założeniem o tej samej liczbie komponentów wracających na rynek w obu scenariuszach oraz powrocie samego telefonu. Najlepsze wyniki, też zbliżone, uzyskuje się dla scenariuszy ponownego wykorzystania i naprawy telefonu, gdyż wykonywane operacje są ograniczone do minimum.

Cykl życia telefonu w największym stopniu przyczynia się do powstawania szkód dla zdrowia ludzkiego niezależnie od rozpatrywanego scenariusza zagospodarowania zwrotów. W mniejszym zakresie przyczynia się do powstawania szkód dla zasobów. Zaskakująco, tylko w nieznacznym stopniu cykl życia telefonu przyczynia się do powstawania zagrożeń dla ekosystemu.

Rys. 4 przedstawia wartości wskaźników dla 6 scenariuszy zagospodarowania produktów niepełnowartościowych z uwzględnieniem 11 kategorii wpływu. Kategoriami, w których ten wpływ jest najbardziej istotny, są choroby układu oddechowego powodowane przez emisje nieorganiczne oraz wykorzystanie surowców kopalnych. Do kategorii, w których udział cyklu życia telefonu wraz ze scenariuszami zagospodarowania produktu niepełnowartościowego jest zauważalny, zaliczymy: koncentrację substancji rakotwórczych i toksycznych, wydobywanie minerałów oraz zmianę klimatu. Tylko dla jednej kategorii wpływ cyklu życia telefonu jest pozytywny: wykorzystanie powierzchni ziemi.



Rys. 4. Wskaźniki w kategoriach wpływu dla cyklu życia telefonu komórkowego i 6 scenariuszy zagospodarowania produktów niepełnowartościowych

ZAKOŃCZENIE

Przy interpretacji wyników należy zauważyć, że cykl życia i scenariusze zagospodarowania produktu niepełnowartościowego jest rozpatrywany dla jednej sztuki wyrobu. W związku z tym, wartość ekowskaźnika jest bardzo niska niezależnie od tego który scenariusz zagospodarowania jest rozpatrywany. W chwili obecnej brakuje danych ilościowych odnośnie poszczególnych sposobów zagospodarowania produktów niepełnowartościowych i, tym samym, taka analiza nie jest możliwa. Stanowi ona jednak przedmiot dalszych badań autorów artykułu w ramach projektu pt. „Logistyka produktów niepełnowartościowych” i będzie sukcesywnie prowadzona wraz z pozyskiwaniem kolejnych danych, zwłaszcza odnośnie wolumenu zagospodarowania produktów niepełnowartościowych w poszczególnych scenariuszach. Uwzględnienie tego wolumenu pozwoli na kompleksową analizę wpływów środowiskowych w zwrotnych łańcuchach dostaw i ocenę ze środowiskowego punktu widzenia możliwych do wdrożenia rozwiązań organizacyjnych.

Dokonana analiza wskazuje, że sposób zagospodarowania produktów niepełnowartościowych przynosi konsekwencje również w zakresie wpływów środowiskowych. Rozwiązania logistyczne, produkcyjne czy organizacyjne przyjmowane już na etapie projektowania całego łańcucha dostaw powinny być także poddane ocenie środowiskowej, zwłaszcza dla produktów o wysokim stopniu złożoności i dużych nakładach potrzebnych do ich wytworzenia.

INFORMACJA O FINANSOWANIU

Artykuł stanowi jeden z efektów projektu, który został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji nr DEC-2012/07/D/HS4/02071

Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie możliwości wykorzystania ekologicznej oceny cyklu życia do analizy różnych scenariuszy i rozwiązań logistycznych dla produktów niepełnowartościowych. Ekologiczna ocena cyklu życia jest metodą, która pozwala na identyfikację przepływów materiałowych i energetycznych oraz oceną ich wpływu na środowisko. Przykładowe scenariusze zagospodarowania produktów niepełnowartościowych opracowano dla prostego modelu telefonu komórkowego. Utworzono sześć różnych scenariuszy zagospodarowania i dokonano ich oceny przy wykorzystaniu metody Eco-indicator'99. Wyniki przedstawiono w ujęciu pojedynczego wskaźnika, 3 wskaźników szkody oraz 11 wskaźników wpływu.

Using LCA methodology to assess different logistic scenarios for defective products handling – example of mobile phone

Abstract

The objective of the paper is to present the possibilities of using LCA to assess different logistic solutions and scenarios for handling defective products. Ecological life cycle assessment is a method that enables the identification of material, energy and waste flows and evaluation of its impacts on environment. Defective products handling scenarios are developed for a simple mobile phone model. Six scenarios for handling defective products are assessed with the use of LCA Ecoindicator'99 method. The results are presented in a form single score indicator, 3 damage indicators and 11 impact indicators.

BIBLIOGRAFIA

1. Ilgin M.A., Gupta S.M., Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art, *Journal of Environmental Management* 91 (2010), s. 563–591
2. Jun H.-B., Kiritsis D., Xirouchakis P., Research issues on closed-loop PLM, *Computers in Industry* 58 (2007), s. 855–868
3. van Nes N., Cramer J., Product lifetime optimization: a challenging strategy towards more sustainable consumption patterns, *Journal of Cleaner Production* 14 (2006), s. 1307-1318
4. Subramoniam R., Huisingh D., Chinnam R.B., Aftermarket remanufacturing strategic planning decision-making framework: theory & practice, *Journal of Cleaner Production* 18 (2010), s.1575-1586
5. Kerr W., Ryan C., Eco-efficiency gains from remanufacturing A case study of photocopier remanufacturing at Fuji Xerox Australia, *Journal of Cleaner Production* 9 (2001), s. 75–81
6. Sangprasert W., Pharino C., Environmental Impact Evaluation of Mobile Phone via Life Cycle Assessment, 3rd International Conference on Chemical, Biological and Environment Sciences (ICCEBS'2013) January 8-9, 2013 Kuala Lumpur (Malaysia)
7. Nitkiewicz T., Ekologiczna ocena cyklu życia produktu w procesach decyzyjnych przedsiębiorstw produkcyjnych, Seria Monografie nr 274, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2013
8. International Organization for Standardization (ISO), ISO 14040:2006 Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. Geneve 2006.
9. Kulczycka J.. Ekoefektywność projektów inwestycyjnych z wykorzystaniem koncepcji cyklu życia produktu. Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2011.
10. Lewandowska A., Environmental life cycle assessment as a tool for identification and assessment of environmental aspects in environmental management systems (EMS). Part 1: methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(2011), s. 178-186.
11. Zobel T., Almroth C., Bresky J., Burman J., Identification and assessment of environmental aspects in an EMS context: an approach to a new reproducible method based on LCA methodology. *Journal of Cleaner Production*, 10(4)2002, s. 381-396
12. Matuszak-Flejszman A., System zarządzania środowiskowego w organizacji, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2007.
13. Kowalski Z., Kulczycka J., Góralczyk M., Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
14. Wach A., Metoda oceny cyklu życia (LCA) jako podstawa komputerowo-wspomaganej oceny wyrobu. II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia w elektronice”, PIE, Warszawa 2002.
15. Mesjasz-Lech A., Efektywność ekonomiczna i sprawność ekologiczna logistyki zwrotnej, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011.
16. Goedkoop M., Oele M., de Schryver A., Vieira M., SimaPro 7 Database Manual. Methods library, PRe Consultants, 2008.

17. Goedkoop M., Spriensma R., The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology report, Ministerie van Volkshuisvesting, D-G Milieubeheer, Amersfoort 2001