



The use of Life Cycle Assessment (LCA) method to estimate the environmental impact of the recycling of used up lead-acid batteries

Ewa KAMIŃSKA¹

¹ Instytut Transportu Samochodowego, ul. Jagiellońska 80, 03-301 Warszawa, tel.: 22-43-85-537, fax.: 22-43-85-401, e-mail: ewa.kaminska@its.waw.pl

Abstract

Life Cycle Assessment (Life Cycle Assessment - LCA) allows to estimate the emission and quantities of raw materials and energy, the pressure on health and the environment, which are assigned to the product during its entire life cycle. The paper presents the life cycle assessment (LCA) as one of the methods of evaluating the environmental impact of the selected technology of recycling lead-acid batteries. Author defines the area of analyses, determines the main unit technology processes and presents material and energy inputs, waste and emissions. Then identified are the most important impact categories that will enable interpretation of the results of environmental analysis.

Keywords: LCA, recycling, acid batteries

Streszczenie

Wykorzystanie metody oceny cyklu życia (LCA) do oszacowania wpływu na środowisko procesu recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych

Ocena Cyklu Życia (Life Cycle Assessment – LCA) pozwala na szacowanie emisji, ilości zużytych surowców i energii, presji na zdrowie oraz środowisko, jakie są przypisane do produktu w trakcie jego całego cyklu życia. W artykule zostanie przedstawiona ocena cyklu życia (LCA) jako jedna z metod szacowania wpływu na środowisko wybranej technologii recyklingu akumulatorów kwasowo-ołowiowych. Autor określi obszar analiz, wyznaczy główne procesy jednostkowe technologii oraz przedstawi nakłady materiałowo-energetyczne, odpady i emisje. Następnie zostaną wskazane najważniejsze kategorie wpływu, które umożliwiają przeprowadzenie interpretacji wyników analiz środowiskowej.

Słowa kluczowe: LCA, recykling, akumulatory kwasowo-ołowiowe

1. Wstęp

Ekobilansowanie to wieloaspektowa metoda analizy cyklu życia obiektów, zawierająca własny model obliczeniowy [1]. LCA jest stosunkowo nową, lecz popularną i często wykorzystywaną w obliczeniach metodą zarządzania środowiskowego [2]. W niniejszej pracy zaproponowano zastosowanie oceny cyklu życia do oszacowania wpływu na środowisko technologii recyklingu samochodowych akumulatorów kwasowo-ołowiowych. Ustalono granice analiz, określono główne procesy jednostkowe oraz przyporządkowano do nich nakłady materiałowe i energetyczne. Ponadto określono rodzaj odpadów, emisji oraz kategorii wpływu, charakterystycznych dla tej technologii. Metoda LCA umożliwia wskazanie, które aspekty środowiskowe są najistotniejsze, pozwala na ich ocenę, w odniesieniu do wpływu na środowisko naturalne, w całym cyklu życia danego produktu [3]. W celu wykonania pełnej analizy badanej technologii, skorzystano z modelu obliczeniowego Ecoindicator 99.

2. Metoda Cyklu Życia Produktu (LCA) – Life Cycle Assessment

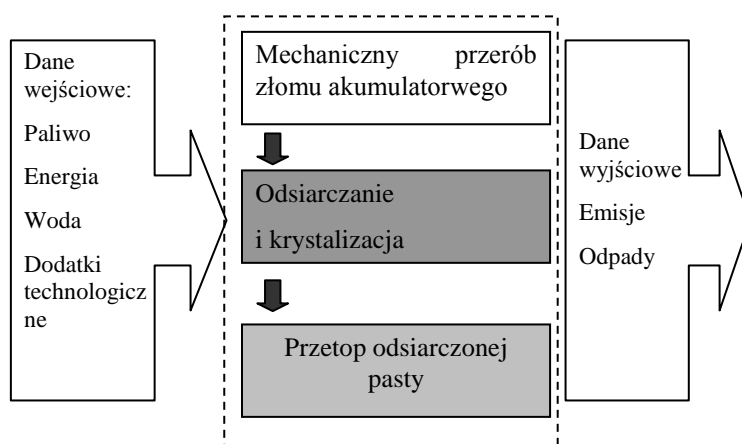
Metoda cyklu życia produktów LCA (*Life Cycle Assessment*) definiowana jest jako sposób ilościowego określenia obliczenia środowiskowego i jest oparta na inwentaryzacji czynników środowiskowych, związanych z obiektem, procesem lub inną działalnością, w cyklu od wydobycia surowców do ich końcowego

zagospodarowania [4]. Bazę odniesienia dla oddziaływań stanowi jednostka funkcjonalna tj. jednostka związana z obiektem analizy [5]. Schemat postępowania przy przeprowadzaniu analiz LCA określony jest w serii norm ISO 14000 oraz w ich polskich odpowiednikach. Określono w nich kompleksowo, jakie wymagania powinna spełniać analiza LCA, odnośnie zasad sporządzania oceny, przeprowadzania obliczeń i ich interpretacji oraz koniecznych dokumentów. Metodyka LCA zgodnie z zapisami norm ISO 14040 składa się z czterech etapów:

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

2.1. Określenie celu i zakresu analizy – Goal and Definition

Pierwszym etapem przeprowadzenia analizy ekobilansowej metodą LCA jest określenie celu i zakresu badań. Dla technologii recyklingu zużytych samochodowych akumulatorów kwasowo-ołowiowych, wykorzystywanych jako surowiec do produkcji m.in. ołowiu, celem oceny cyklu życia jest określenie wielkości potencjalnego wpływu na środowisko przyrodnicze wspomnianej technologii [6]. Ważnym elementem jest również wskazanie, która z operacji tworzących technologię ma najwyższy niekorzystny wpływ na środowisko. Instalacja, będąca obiektem badań, należy do podmiotów wpływających niekorzystnie na środowisko i podlega zapisom rozporządzenia [7]. Na etapie określania zakresu badań, należy wyznaczyć granice obiektu poddanego analizie. Technologia recyklingu akumulatorów obejmuje: mechaniczne kruszenie złomu akumulatorowego, odsiarczanie pasty ołowiowej, krystalizację w celu otrzymania siarczanu sodowego oraz przetop odsiarczonej pasty ołowiowej do postaci ołowiu surowego.



Rys. 2.1. Granice przyjętego systemu oraz procesy jednostkowe wybrane dla technologii recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych. Opracowanie własne na podstawie [2].

Na rysunku 2.1. przedstawiono granice analizowanej technologii, tzw. technologii CX, wykorzystywanej w szeregu państw europejskich jako jedna z metod przerobu złomu akumulatorowego. Dane, w oparciu o które dokonano analiz potencjalnych wpływów środowiskowych technologii, pochodzą z roku 2006. Do przeprowadzenia szacowania wpływu na środowisko wybrano trzy z czterech głównych etapów technologii recyklingu akumulatorów. Nie uwzględniono procesu rafinacji ołowiu surowego, co jest wynikiem braku dostępu do informacji.

Wyodrębniono trzy główne etapy analiz przeprowadzanych metodą LCA, dla recyklingu akumulatorów:

- identyfikację wybranych etapów technologii,
- identyfikację i inwentaryzację elementów wejściowych i wyjściowych charakteryzujących każdy z określonych etapów,
- ocenę wpływu na środowisko wynikającą ze zużycia surowców i emisji dla każdego analizowanego etapu technologii recyklingu.

W celu obliczenia wartości Ekowskażnika 99, wyrażającego wpływ środowiskowy analizowanej technologii należy:

- opracować drzewo życia dla omawianych operacji i technologii,
- wybrać odpowiednią jednostkę funkcjonalną,
- opracować tablice inwentaryzacyjne,
- obliczyć wartość ekowskażnika odpowiadającego jednostce funkcjonalnej technologii,
- przeprowadzić analizę obciążenia środowiska w poszczególnych kategoriach tj. (zdrowie człowieka, jakość ekosystemu i zasoby)[5].

Obliczona wartość ekowskażnika- 99 dla technologii będzie stanowić kryterium jej ekologicznej oceny.

W odniesieniu do jednostki funkcjonalnej obliczane są wszystkie dane wejściowe i wyjściowe, ewentualnie otrzymane wyniki będą mogły być porównane między sobą. W badaniach literaturowych dotyczących analiz LCA technologii recyklingu, najczęściej stosowaną jednostką jest 1 Mg otrzymanego ołowiu. Autor publikacji jako jednostkę funkcjonalną przyjął 1Mg przerabianego złomu akumulatorowego.

2.2. Faza analizy zbioru wejść i wyjść (inwentaryzacja) – Life Cycle Inventory Analysis – LCI

Drugi etap LCA oznacza zestawienie danych wejściowych i wyjściowych badanego systemu. Efektem jest stworzenie tablic inwentaryzacyjnych materiałów, energii generowanych emisji oraz wszystkich odpadów. Dane gromadzone są dla każdego wyodrębnionego procesu jednostkowego, powinny być sprawdzone pod kątem kompletności oraz poddane walidacji. Należy podkreślić, że najbardziej istotne dla wyników analizy są w pierwszej kolejności dane z własnych obliczeń, następnie dane literaturowe, szacunkowe oraz pochodzące z ogólnie dostępnych baz.

Tabela 2.2. Zestawienie nakładów materiałowych i energetycznych charakterystycznych dla technologii recyklingu akumulatorów kwasowo-ołowiowych.

<u>Dane wejściowe z „natury”</u>	
<u>Woda</u>	stosowana podczas całego procesu recyklingu w obiegu zamkniętym
<u>O₂</u>	stosowane podczas procesu przetopu odsiarczonej pasty ołowiowej
<u>Dane wejściowe z „technosfery” (materiały, paliwa, energia elektryczna i ciepło)</u>	
<u>Paliwa</u>	podczas przetopu pasty ołowiowej, krystalizacji i odsiarczania pasty
<u>Złom akumulatorowy</u>	[Mg] wsad
<u>Soda kalcynowana</u>	[Mg] stosowana podczas procesu przetopu pasty ołowiowej
<u>Kosik</u>	[Mg] stosowany podczas procesu przetopu pasty ołowiowej
<u>Energia elektryczna</u>	podczas wszystkich etapów recyklingu
<u>Dane wyjściowe</u>	
<u>Produkt główny</u>	[Mg]pasta ołowiowa otrzymywana podczas ostatniej operacji technologicznej
<u>PP</u>	[Mg] otrzymywany podczas pierwszej operacji technologicznej, surowiec
<u>Odpady i emisje</u>	
<u>Odpady stałe</u>	żużel sodowy pozostaje z operacji przetopu pasty ołowiowej
<u>PVC</u>	odpad pozostały z pierwszego procesu, odbiera firma zewnętrzna
<u>Emisje do powietrza powstałe w wyniku procesu przetopu pasty ołowiowej,</u>	Zn, CH ₄
	HCl, H ₂ S, CO ₂
	H ₂ SO ₄ , NO _x
	Cu, Sb, Pb, N ₂ O
	Se, NO ₂
<u>Emisje do wody, pochodzące z wód opadowych, służących do zadań pozatechnologicznych.</u>	pyły ze spalania, pyły pozostałe
	powstałe podczas splukiwania, woda socjalno-bytowa

Opracowanie własne na podstawie [2]

2.3. Faza oceny wpływu cyklu życia - LCIA Life Cycle Impact Assessment

Celem etapu LCIA jest dostarczenie dodatkowych informacji pomocnych w ocenie wyników LCI w celu lepszego zrozumienia ich znaczenia środowiskowego [6]. Należy określić zależności środowiskowe dla wszystkich zgromadzonych wejść i wyjść oraz oszacować ich potencjalny wpływ na środowisko [8]. Dla potrzeb realizacji trzeciej fazy LCA istnieje szereg procedur obliczeniowych do oceny oddziaływania. Na tym etapie analizy również dokonuje się wyboru metody oceny oraz klasyfikacji wyników LCI do odpowiednich kategorii wpływu. Do ich przeprowadzenia wykorzystywane są różne modele obliczeniowe.

Przy ocenie wpływów (LCIA) technologii recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych wykorzystano metodykę Ecoindicator 99.

Metoda Ecoindicator 99 "ma za zadanie określić na wstępie kategorie, w których oceniane są wpływy środowiskowe (zdrowie człowieka, jakość ekosystemu i zasoby naturalne). W następnej kolejności wyniki analizy inwentaryzacyjnej, przyporządkowane są do tych kategorii [9].

Tabela 2.3. Procedura oceny oddziaływań na środowisko (LCIA) przyjęta dla ekobilansu technologii recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych.

Zbiór wejść i wyjść (LCI)	Kategoria wpływu	Punkt końcowy
dwutlenek węgla (CO ₂), dwutlenek azotu (NO ₂), metan (CH ₄), chlorofluorokarbon (CFC), hydrochlorofluorokarbon (HCFC)	Globalne ocieplenie	ZDROWIE LUDZKIE
chlorofluorokarbon (CFC), hydrochlorofluorokarbon (HCFC),	Zubożenie warstwy ozonowej	
tlenki siarki (SO _x), tlenki azotu (NO _x),	Smog fotochemiczny	
metale ciężkie: rtęć (Hg), ołów (Pb), kadm (Cd), chrom, (Cr) miedź (Cu), cynk (Zn), bizmut (Bi)	Czynniki nowotworowe	
dwutlenki siarki (SO _x), tlenki azotu (NO _x), tlenek węgla (CO), pyły	Substancje wpływające negatywnie na układ oddechowy	
dwutlenki siarki (SO ₂), tlenki azotu (NO _x),	Zakwaszenie	JAKOŚĆ EKOSYSTEMU
tlenki azotu (NO _x), azotany	Eutrofizacja	
metale ciężkie, cząstki stałe, koncentracja substancji toksycznych	Ekotoksyczność	
powierzchnia terenu zagospodarowana na potrzeby wybudowania zakładu przerobu złomu akumulatorowego, jak również jego transformacja i stopień przekształcenia, budowa infrastruktury	Wykorzystanie gruntów	ZMNIJSZENIE ZASOBÓW NATURALNYCH
paliwa kopalne i minerały wykorzystywane w procesach wydobywczych	Zmniejszenie ilości zasobów naturalnych	

Opracowanie własne na podstawie [2].

Dla przejrzystości wyników LCA, wszystkie oddziaływania środowiskowe należy podzielić na jak najmniejszą liczbę kategorii wpływu. W przyjętej procedurze (Ecoindicator 99), określono wpływ obiektu na tzw. punkty końcowe: zdrowie ludzkie, jakość ekosystemu oraz zmniejszenie zasobów naturalnych, które scharakteryzowano w tabeli 2.3.

Poszczególne rodzaje oddziaływań obiektu analiz, ich wielkość i charakter należy odnieść do przyczyn degradacji środowiska na wybranym obszarze, czyli w odniesieniu do konkretnego regionu, kraju, kontynentu czy świata [10].

2.4. Interpretacja cyklu życia – Life Cycle Interpretation

Jest to ostatni etap analizy LCA, w której rozpatrywane są wyniki analizy zbioru wejść wyjść oraz wyniki oceny ich wpływu. Ważne jest, aby wyniki analizy były spójne z przyjętym celem i zakresem. Wynikiem końcowym tego etapu LCA jest dostarczenie zrozumiałych, kompletnych i spójnych prezentacji wyników [6]. Efektem interpretacji wyników analizy ekobilansowej jest sformułowanie ostatecznych wniosków, wyjaśnienie ograniczeń, określenie zaleceń mogących wpłynąć na zmniejszenie negatywnych skutków środowiskowych [8]. Narzędziem do przeprowadzenia obliczeń jest program SimaPro 7.2.3.

Analizy ekobilansowe przeprowadzane są na trzech poziomach szczegółowości:

- wariant koncepcyjny LCA (screening LCA),
- wariant uproszczony LCA (simplified LCA),
- wariant szczegółowy (detailed LCA).

Autor, mimo posiadania szczegółowych informacji dotyczących technologii recyklingu akumulatorów, wybrał wariant uproszczony LCA. Jest on często stosowany przy analizach procesów decyzyjnych związanych z rozwojem produktu, w strategiach komunikacji. Dane wykorzystywane do przeprowadzenia analiz mogą pochodzić z istniejących baz, powinny być uzupełniane o aktualne dane literaturowe bądź dane pierwotne pochodzące od dostawców, producentów itp. Konieczne jest przeprowadzenie analizy wrażliwości i ewentualnego skorygowania istotnych założeń. Okres wykonania opracowania wynosi od kilku tygodni do kilku miesięcy [11].

3. Wyniki obliczeń

Wyniki analizy zostały przedstawione oddzielnie dla każdego wyodrębnionego procesu jednostkowego, oznaczonego kolejno jako:

- P1 – proces kruszenia i separacji,
- P2 – proces odsiarczania i krystalizacji,
- P3 – proces przetopu surowego ołowiu.

W tabeli 4.1. Przedstawiono wartości negatywnych oddziaływań środowiskowych w ujęciu jedenastu kategorii oddziaływań charakterystycznych dla metody Ecoindicator 99. Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu programu SimaPro 7, w wersji 7.2.3.

Tabela 4.1. Poziom negatywnych oddziaływań środowiskowych dla 11 kategorii oddziaływań.

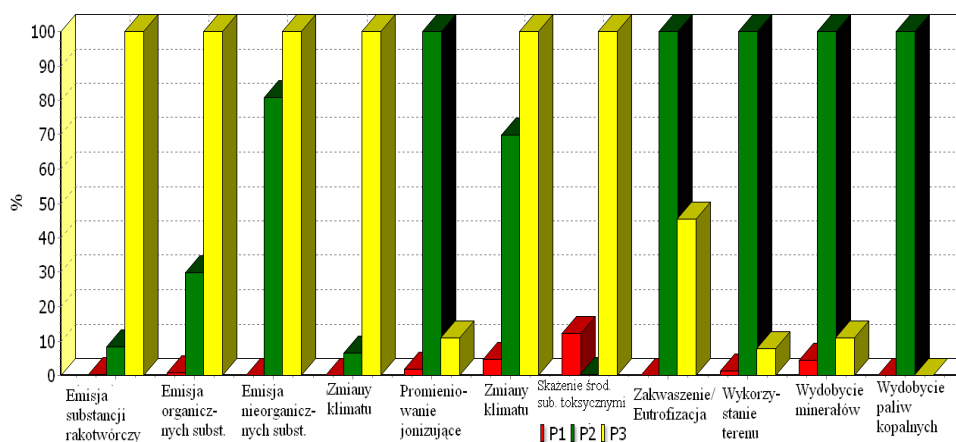
Kategorie środowiskowe	Jednostka	P1	P2	P3
Suma	Pt	0,008201	7,502991	8,341592
Emisja substancji rakotwórczych	Pt	9,25E-05	0,002895	0,035285
Emisje substancji organicznych powodujące choroby układu oddechowego	Pt	2,57E-08	1,11E-06	3,72E-06
Emisje substancji nieorganicznych powodujące choroby układu oddechowego	Pt	0,000123	6,170785	7,636148
Zmiany klimatu	Pt	4,54E-05	0,004876	0,074396
Promieniowanie jonizujące	Pt	6,46E-08	3,79E-06	4,18E-07
Ubożenie warstwy ozonowej	Pt	1,76E-09	2,69E-08	3,85E-08
emisja substancji rakotwórczych	Pt	0,007894	0,000224	0,064244
Kategorie środowiskowe	Jednostka	P1	P2	P3
Zakwaszenie/Eutrofizacja	Pt	8,93E-06	1,170769	0,531345
Wykorzystanie terenu	Pt	3,82E-06	0,000268	2,09E-05
Wydobycie minerałów	Pt	5,76E-07	1,27E-05	1,39E-06
Wydobycie paliw kopalnych.	Pt	3,36E-05	0,153156	0,000148

Opracowanie własne na podstawie [12].

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że wszystkie trzy procesy jednostkowe wywierają niekorzystny wpływ na środowisko. Proces mechanicznego kruszenia złomu akumulatorowego generuje najniższy poziom szkód. Jest to związane z niewykorzystywaniem w pierwszym etapie przerobu złomu akumulatorowego gazu oraz występowaniem emisji pyłowych na bardzo niskim poziomie. Większość uzyskanych na tym etapie półproduktów jest wykorzystywana w dalszym etapie recyklingu, np. elektrolit, również nie występuje składowanie odpadów, które potencjalnie mogłoby wpływać negatywnie np. na kategorię wykorzystania terenu. Produktem uzyskiwanym na tym etapie jest polipropylen, będący produktem handlowym. Etap drugi, obejmujący odsiarczanie i krystalizację, jest już procesem energochłonnym, wykorzystującym w wysokim stopniu zarówno paliwa gazowe jak i energię elektryczną. Znajduje to wyraz w wysokim poziomie szkód środowiskowych, szczególnie dla kategorii emisji nieorganicznych substancji wywołujących choroby układu oddechowego - 6,8 Pkt. Drugą znaczącą grupą szkód środowiskowych dotyczy zakwaszenia/eutrofizacji - 1,17 Pkt, co może być wynikiem emisji tlenków siarki i azotu. Trzecią grupą jest wykorzystanie paliw kopalnych - 0,153 Pkt. W podobnych proporcjach przedstawiają się wyniki analizy dla trzeciego procesu – przetopu pasty ołowiowej, gdzie negatywny wpływ na środowisko kształtuje się na następującym poziomie:

- dla kategorii emisji nieorganicznych substancji wywołujących choroby układu oddechowego - 7,64 Pkt,
- dla kategorii zakwaszenie/eutrofizacja - 0,531 Pkt,
- dla emisji substancji rakotwórczych - 0,0353 Pkt,
- dla kategorii skażenie środowiska substancjami toksycznymi - 0,0642 Pkt,
- wydobywanie paliw kopalnych - 0,000148 Pkt.

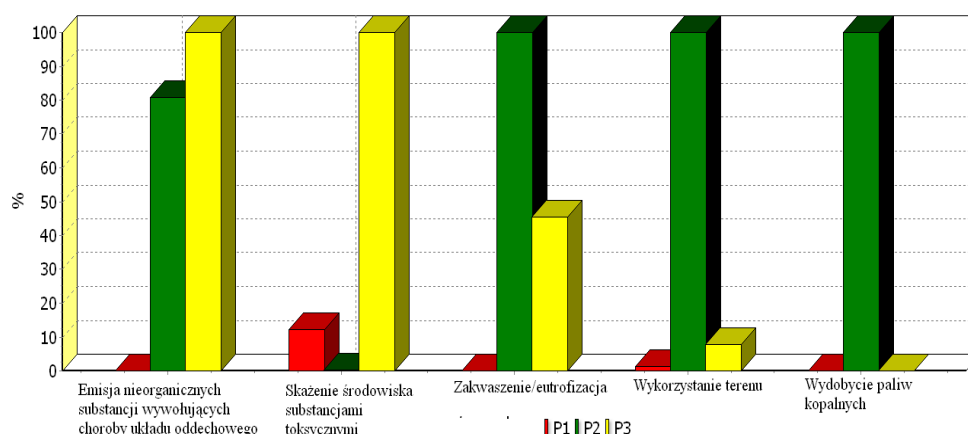
Na poniższym rysunku przedstawiono wyniki charakteryzacji dla trzech procesów jednostkowych w jedenastu kategoriach oddziaływań środowiskowych.



Wykres 4.1. Wyniki charakteryzacji technologii recyklingu akumulatorów kwasowo-ołowiowych dla trzech procesów jednostkowych. Opracowanie własne na podstawie [12].

Na wykresie 4.1. przedstawiono porównanie procesów jednostkowych technologii przerobu złomu akumulatorowego dla kategorii wpływów środowiskowych takich jak: czynniki rakotwórcze, emisje związków organicznych, emisje związków nieorganicznych, zmiany klimatu, promieniowanie, zniszczenia warstwy ozonowej, ekotoksyczność, zakwaszenie/eutrofizacja, wykorzystanie terenu, wykorzystanie surowców mineralnych, zużycie paliw kopalnych. Wpływ środowiskowy jest wyrażony w %, gdzie najwyższa wartość wpływu w danej kategorii przedstawiona jest jako 100%. Najwyższy negatywny wpływ na środowisko mają procesy odsiarczania i krystalizacji, podobnie proces przetopu pasty ołowiowej. Natomiast proces mechanicznego przerobu złomu akumulatorowego, niesie niski poziom szkód środowiskowych.

Na rysunku 4.2. przedstawiono wyniki charakteryzacji dla 5 wybranych kategorii środowiskowych, dla których negatywny wpływ procesów P1-P3 osiąga najwyższą wartość.



Rysunek 4.2. Wyniki charakteryzacji dla 5 wybranych kategorii środowiskowych. Opracowanie własne na podstawie [12].

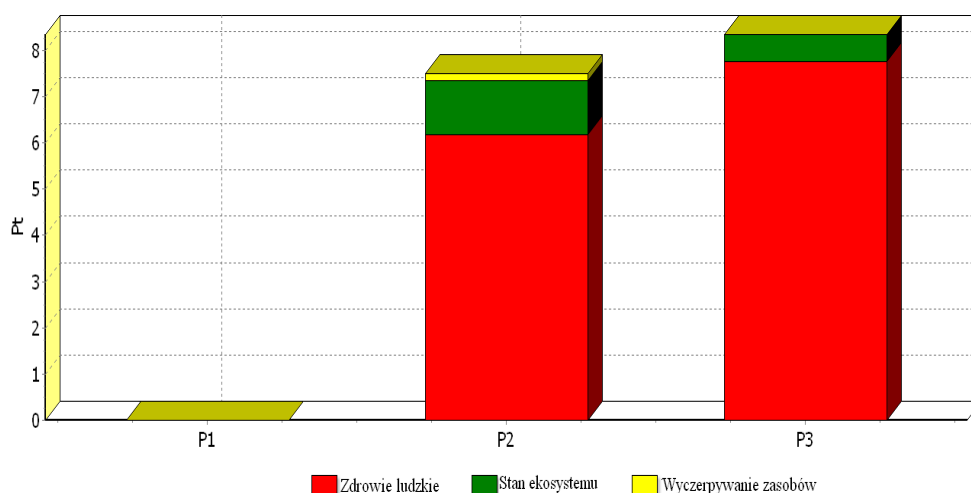
Poziom oddziaływań środowiskowych dla procesu mechanicznego przerobu złomu akumulatorowego przyjmuje najwyższą wartość dla kategorii skażenia środowiska substancjami toksycznymi. Proces odsiarczania i krystalizacji negatywnie wpływa przede wszystkim na kategorię: wykorzystania paliw kopalnych, wykorzystanie terenu, zakwaszenie i eutrofizację oraz emisję nieorganicznych substancji wywołujących choroby układu oddechowego. Natomiast przetop pasty ołowiowej przyjmuje najwyższe wartości dla kategorii skażenia środowiska substancjami toksycznymi, następnie podobnie jak proces P2, dla kategorii emisji nieorganicznych substancji wywołujących choroby układu oddechowego. W mniejszym stopniu wpływa na zakwaszenie i eutrofizację oraz wykorzystanie terenu.

Tabela 4.1. Wartości punktów końcowych dla trzech kategorii oddziaływań środowiskowych. Opracowanie własne na podstawie [12].

Kategorie oddziaływań środowiskowych	P1	P2	P3	Jednostka
zdrowie ludzkie	1E-8	0,000237	0,000297	DALY
stan ekosystemów	0,102	15	7,64	PDF*m2yr
wyczerpywanie zasobów	0,00143	6,44	0,00626	MJ surplus

Zastosowane jednostki oznaczają odpowiednio:

- DALY (Disability Adjusted Life Years) oznacza oddziaływania na człowieka, którego efektem jest skrócenie życia jednej osoby o rok, bądź dwudziestopięcioprocentową niepełnosprawność przez cztery lata. Jednostka przyjmuje wartości w skali 0 – brak wpływu na organizm ludzki, 10 – przyczyna śmierci [13],
- PDF (Potentially Disappeared Fraction) - w przypadku negatywnego wpływu oznacza udział tej części gatunku, która na skutek negatywnych oddziaływań jest potencjalnie narażona na wyginięcie w regionie [14],
- MJ oznaczają różnicę pomiędzy aktualną ilością energii niezbędną do wydobycia surowców a ilością energii niezbędną do zrealizowania tego samego celu w przyszłości [15].



Rysunek.4.3. Porównanie procesów P1,P2 i P3 pod kątem trzech skumulowanych kategorii szkód środowiskowych: życie ludzkie, jakość ekosystemu, zużycie surowców. Opracowanie własne na podstawie [12].

Z rezultatów analiz zaprezentowanych na rysunku 4.3. wynika, że proces recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych, realizowany zgodnie z przyjętymi założeniami procesu rzeczywistego, obciąża środowisko na następujących poziomach:

- kruszenie i separacja – 0,0082 Pt,
- odsiarczanie i separacja – 7,5 Pt
- przetop pasty ołowiowej – 8,34 Pt.

Najwyższy negatywny wpływ dla technologii przerobu złomu akumulatorowego obliczono w kategorii zdrowie ludzkie.

5. Posumowanie

W opracowaniu przedstawiono możliwość wykorzystania metody LCA do oceny wpływu na środowisko technologii recyklingu akumulatorów kwasowo-ołowiowych.

Określono:

- jednostkę funkcjonalną (1 Mg),
- główne etapy technologii (trzy główne etapy),
- granice systemu („od bram fabryki do uzyskania produktu – ołowiu surowego),
- poziom negatywnego oddziaływania technologii na wybrane kategorie szkód środowiskowych.

Autor wybrał kategorie wpływu, które mają najwyższy potencjalny wpływ na środowisko, tj.: wykorzystania paliw kopalnych, wykorzystanie terenu, zakwaszenie i eutrofizację oraz emisję nieorganicznych substancji wywołujących choroby układu oddechowego, skażenie środowiska substancjami toksycznymi. Wyniki przedstawiono w punktach środowiskowych, które określają poziom oddziaływania analizowanej technologii na środowisko. Taka forma pokazania wyników umożliwia przeprowadzenie porównania, np. w celu określenia który, proces jest mniej lub więcej przyjazny środowisku.

Literatura

1. Kłos Z, Laskowski G. „Metody ekobilansowe w zarządzaniu środowiskiem”, materiały V konferencji TQM „Elementy i ich integracja”, Boszkowo, 21-24 kwietnia 1998

2. Samson-Bręk I. „Zastosowanie metody oceny cyklu życia (LCA) do oszacowania wpływu na środowisko procesu uprawy biomasy przeznaczonej na cele energetyczne, Chemik, 11/2012
3. Samson-Bręk I. „Zastosowanie metody oceny cyklu życia LCA do oszacowania wpływu na środowisko wytwarzania paliwa biogazowego do silników spalinowych”, Archiwum Motoryzacji, 2/2011
4. Imarisio R., Papa P.G., Siracusa M. “The New Fiat GM Power-Train Small Diesel Engine”. Aachener Colloquium Fahrzeug - und Motorentchnik, Aachen 2003
5. Jurek A. „Zagadnienia oceny wpływu maszyn i urządzeń na środowisko”, Rozprawa doktorska, Wrocław, Politechnika Wroclawska 2002
6. PN-EN ISO 14040, Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia –Zasady i struktura, PKN, Warszawa 2009
7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 lipca 2002 r. w sprawie rodzajów instalacji mogących powodować znaczne zanieczyszczenia poszczególnych elementów przyrodniczych albo środowiska jako całości, Dz. U. Nr 122 poz.1055
8. Kowalski Z., Kulczycka J., I Góralczyk M. „Ekologiczna Ocena Cyklu Życia Procesów Wytwórczych”, PWN, Warszawa, 2001
9. Sablik J., Czaplicka K., Bojarska-Kraus M., Aleksa H. „Ocena wpływu wzbogacania węgla na obciążenie środowiska naturalnego metodą analizy cyklu życia”, Inżynieria Mineralna, styczeń-czerwiec 2005 – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, 2005
10. Kłós Z., Kurczewski P., Kasprzak J. „Środowiskowe charakteryzowanie maszyn i urządzeń. Podstawy ekologiczne, metody i przykłady”, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005
11. Goedkoop M., DeSchryver A. and Oele M., PRé Consultants “Introduction to LCA with SimaPro 7, 2008
12. Dane firmy zajmującej się przerobem złomu akumulatorowego.
13. Lewicki R. „Prośrodowiskowa analiza konsekwencji procesu zagospodarowania pojazdów samochodowych”, Rozprawa doktorska, Poznań, Politechnika Poznańska 2009
14. Goedkoop M., Spriensma R., “Ecoindicator 99: A damage Orientem Method for Life Cycle Impact Assessment”, Methodology report, PRe Consultans B.V., 2001
15. Müller-Wenk., “Depletion of abiotic resources weighted on base of virtual impacts of lower grades deposits In future”, IWÖ Diskussionbeitrag Nr 57, Univwrsität ST. Gallen, 1998

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy nr N N509 556939

