

Wioletta Bajdur*
Joanna Kulczycka**
Tomasz Odzimek***

Ekoinnowacje technologiczne w aspekcie zrównoważonego rozwoju

Wstęp

Termin „ekoinnowacja” odnosi się do wszystkich form innowacji – technicznych i pozatechnicznych – które stwarzają szanse dla przedsiębiorstw oraz przynoszą korzyści środowisku dzięki zapobieganiu negatywnemu wpływowi na środowisko lub ograniczaniu go, bądź też dzięki optymalizacji wykorzystania zasobów. Są one ściśle powiązane z poszczególnymi fazami cyklu życia produktu, począwszy od wykorzystania zasobów naturalnych, poprzez proces produkcji, użytkowania/konsumpcji, na procesie zagospodarowania odpadów kończąc. Bardzo często w praktyce utożsamiany jest z pojęciami ekoefektywności i przemysłu ekologicznego. Takie koncepcje sprzyjają przejściu przedsiębiorstw produkcyjnych z technologii „końca rury” na rozwiązania „zamkniętego obiegu”, które minimalizują przepływ materiałów i energii dzięki zmienianiu produktów i metod produkcji, przynosząc przewagę konkurencyjną wielu przedsiębiorstwom i sektorom [Komisja Europejska, b.d., s. 1]. Zgodnie z inną definicją ekoinnowacja to jakakolwiek innowacja, zrealizowana zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa, która przynosi korzyści dla środowiska naturalnego – w szczególności w postaci minimalizacji zużycia zasobów naturalnych na jednostkę wytworzonego produktu oraz minimalizacji uwalniania się niebezpiecznych substancji do środowiska w trakcie wytwarzania produktu jego użytkowania oraz po jego użyciu [Ozdoba, 2015, s. 152].

Innowacje są niezbędnym elementem dla realizacji wyzwań związanych z ochroną środowiska. Nie ma wątpliwości, że aby wdrożyć cele przyjęte w paryskim porozumieniu klimatycznym i Agendzie 2030, należy

* Dr hab., Katedra Systemów Technicznych i Bezpieczeństwa, Wydział Zarządzania, Politechnika Częstochowska, ul. Armii Krajowej 36B, 42-200 Częstochowa, wiolawb@poczta.onet.pl

** Dr hab., Katedra Zarządzania w Energetyce, Wydział Zarządzania, AGH w Krakowie, ul. A. Gramatyka 10, 30-071 Kraków, jkulcz@zarz.agh.edu.pl

*** Dr, Instytut Socjologii i Psychologii Zarządzania, Wydział Zarządzania, Politechnika Częstochowska, ul. Armii Krajowej 36B, 42-200 Częstochowa, tomasz.odzimek@wz.pcz.pl

uruchomić produkty, procedury i technologie chroniące środowisko naturalne, a także zadbać o efektywne wykorzystanie zasobów. Istotne jest, aby taka ścisła interakcja między regulacjami i warunkami polityki środowiskowej a innowacjami przyczyniała się do kreowania nowych rynków i proekologicznych produktów. Dynamiczny rozwój „zielonych” produktów, procesów i usług potwierdzony jest zwiększającymi się inwestycjami prośrodowiskowymi. Globalna wielkość rynku technologii środowiskowych i efektywnego gospodarowania zasobami w roku 2016 przekroczyła 3 bln euro. Suma ta składa się z wielkości sześciu rynków wiodących GreenTech [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2018, s. 8–10]:

- efektywność energetyczna: 837 mld euro,
- zrównoważona gospodarka wodna: 667 mld euro,
- przyjazne dla środowiska generowanie, magazynowanie i dystrybucja energii: 667 mld euro,
- wydajność surowców i materiałów: 521 mld euro,
- zrównoważona mobilność: 421 mld euro,
- gospodarka o obiegu zamkniętym: 110 mld euro.

Branża ekologiczna pozostaje w skali międzynarodowej na fali wznoszącej. Globalna wartość sześciu „zielonych” rynków wiodących zgodnie z szacunkami w roku 2025 wzrośnie do 5902 mld euro. Ta wartość jest oparta na prognozie wynikającej ze średniego wzrostu do roku 2016 wynoszącego 6,9%. Poszczególne wiodące rynki prezentują różną dynamikę wzrostu. Wysoki wskaźnik ekspansji jest widoczny w gospodarowaniu surowcami i wydajności materiałowej (8,1%) oraz w sektorze recyklingu (7,4%).

Celem artykułu jest ocena zasadności i możliwości wdrożenia ekoprojektu związanego z wykorzystaniem odpadów z uwzględnieniem kryterium środowiskowego bazującego na wynikach przeprowadzonych badań za pomocą metody oceny cyklu życia (LCA). Wykorzystanie wyników LCA powinno być traktowane jako nowy wskaźnik eko-innowacyjnych technologii, gdyż jest to jedyny wskaźnik dokonujący kompleksowej oceny procesów i produktów w cyklu życia, zgodnie z gospodarką o obiegu zamkniętym i zrównoważonym rozwojem. Jako przykład badano zastosowanie w ocenie nowej generacji polimerów otrzymywanych z odpadów polimerowych.

Wydanie publikacji sfinansowane zostało przez Wydział Zarządzania Politechniki Częstochowskiej (Badania Statutowe – Katedra Systemów Technicznych i Bezpieczeństwa) oraz przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie (dotacja podmiotowa na utrzymanie potencjału badawczego).

1. Znaczenie LCA w zrównoważonym rozwoju społeczno-gospodarczym

Zrównoważony rozwój społeczno-gospodarczy to dbanie o sprzyjający człowiekowi klimat i środowisko naturalne. W grudniu 2015 r. przedstawiciele 195 państw, w tym Unii Europejskiej, podpisali w Paryżu porozumienie klimatyczne. Podstawowe uzgodnienia umowy dotyczą konieczności ograniczenia globalnego ocieplenia znacznie poniżej 2° C. W związku z tym niezbędne są narzędzia do kompleksowej oceny wpływu na środowisko. Ślad węglowy (CF) i ocena cyklu życia (LCA) są metodami, które pozwalają na oszacowanie obciążenia środowiska powodowanego przez dany produkt, proces produkcyjny lub działalność, poprzez określenie zużycia energii i materiałów oraz zanieczyszczeń odprowadzonych do środowiska, ocenę skutków środowiskowych związanych ze zużyciem energii, materiałów i emisji zanieczyszczeń, a także ocenę możliwości poprawy oddziaływania na środowisko w całym cyklu życia. Ślad węglowy dotyczy kwantyfikacji gazów cieplarnianych, podczas gdy LCA prezentuje wyniki w wielu obszarach, stanowiąc przydatne narzędzie diagnostyczne w zarządzaniu środowiskowym. W efekcie stosowania LCA zarządzający przedsiębiorstwem identyfikują miejsca i obszary, które są źródłem szczególnych obciążeń dla środowiska czy zdrowia ludzi.

Analiza metodą LCA, w przeciwieństwie do tradycyjnych metod zarządzania środowiskiem, pozwala na:

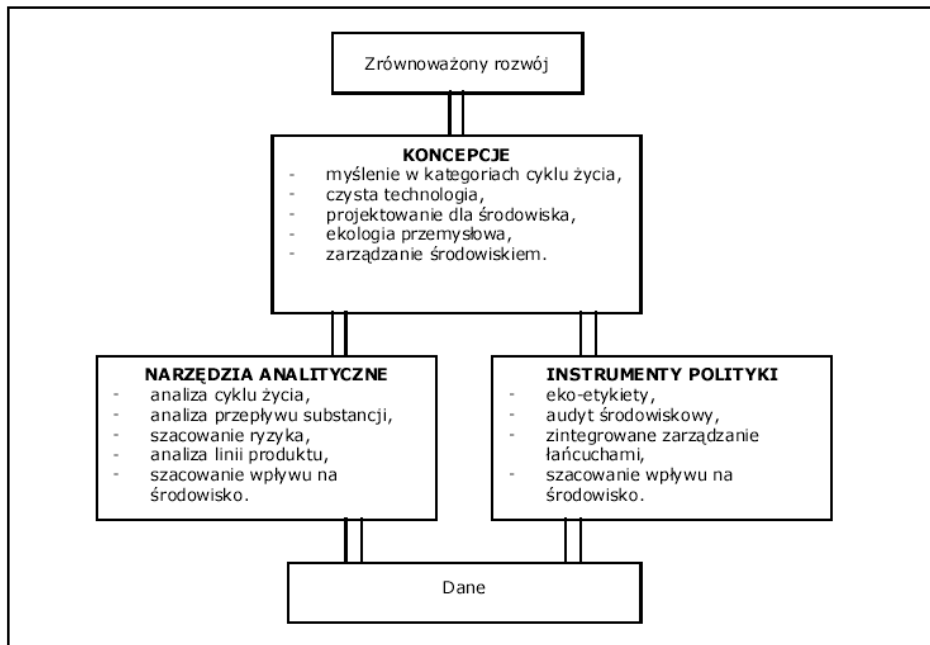
- porównanie alternatywnych produktów i technologii wytwarzania w całym łańcuchu wartości,
- identyfikację miejsc generujących największy wpływ na środowisko w całym cyklu życia,
- ustanawianie kryteriów dla ekoetykiet, w celu identyfikacji produktów najlepszych ekologicznie,
- porównanie alternatywnych sposobów utylizacji odpadów (rys. 1).

Możliwość oceny produktu „od narodzin do śmierci” (*from cradle to grave*) sprawia, iż nie zostaje pominięty żaden etap istnienia wyrobu, co umożliwi dokonanie pełnych porównań określających zagrożenia środowiskowe. To podejście, skupiające uwagę na produkcie w cyklu życia, pozwala na poszukiwanie rozwiązań eliminujących przyczyny powstawania zanieczyszczeń środowiskowych, a nie jak dotychczas „naprawę” ich skutków [Kowalski i inni, 2007].

Prowadzenie badań i analiz techniką LCA pozwoli na efektywniejsze gospodarowanie zasobami pod względem ekologicznym, gdyż bazuje na rzeczywistych danych wejściowych i wyjściowych wybranego procesu. Kompleksowy charakter LCA może wyznaczyć standardy, które w dobie

globalizacji będą decydować o międzynarodowej ekologicznej konkurencyjności danego wyrobu [Łunarski, 2016].

Rysunek. 1. Miejsce LCA i zarządzania środowiskiem w koncepcji zrównoważonego rozwoju



Źródło: [Bajdur, 2016].

Obecnie działania skierowano na upowszechnienie zastosowania metody LCA w ekoprojektowaniu dla uzyskiwania coraz wyższego poziomu ekologicznej innowacji technologicznych. Dotyczy to w szczególności działań na forum UE w zakresie wykorzystania LCA do pomiaru efektywności środowiskowej w cyklu życia produktów i organizacji [Komisja Europejska, 2013]. Zalecenie skierowane jest do państw członkowskich oraz organizacji prywatnych i publicznych dokonujących pomiarów efektywności środowiskowej w cyklu życia swoich produktów, usług lub swojej organizacji lub zamierzających dokonywać takich pomiarów, lub też informujących albo mających zamiar informować o efektywności środowiskowej w trakcie cyklu życia zainteresowane strony reprezentujące interesy prywatne, publiczne lub społeczeństwo obywatelskie na jednolitym rynku. W dokumencie wskazano potencjalne obszary zastosowania metody oznaczania śladu środowiskowego produktu oraz jej wyniki. Mogą one służyć m.in. do:

- optymalizacji procesów w cyklu życia produktu;

- wspierania projektowania produktów o jak najmniejszym oddziaływaniu na środowisko w cyklu życia;
- przekazywania informacji o efektywności środowiskowej w cyklu życia produktów (np. poprzez dokumentację dołączoną do produktu, strony internetowe i aplikacje) przez poszczególne przedsiębiorstwa lub za pośrednictwem programów nieobowiązkowych;
- identyfikacji przypadków znaczącego oddziaływania na środowisko celem ustalania kryteriów dla oznakowania ekologicznego;
- w stosownych przypadkach oferowania zachęt na podstawie efektywności środowiskowej w cyklu życia;
- optymalizacji procesów w całym łańcuchu dostaw asortymentu produktów danej organizacji;
- przekazywania informacji o efektywności środowiskowej w cyklu życia zainteresowanym stronom (np. roczne sprawozdania, sprawozdawczość dotycząca zrównoważonego rozwoju, odpowiedzi na kwestionariusze inwestorów lub zainteresowanych stron).

Komisja Europejska pracuje nad utworzeniem metodyki obliczania śladu środowiskowego produktów PEF i organizacji OEF, opierając się m.in. na istniejących podejściach LCA oraz normach międzynarodowych. Metody Product Environmental Footprint (PEF) i Organisation Environmental Footprint (OEF) wymagają, by do celów porównań opracowano zasady dotyczące kategorii śladu środowiskowego produktów oraz zasady dotyczące kategorii śladu środowiskowego organizacji. Badania rozpoczęto na 26 grupach pilotażowych produktów i organizacji. Po szczegółowej weryfikacji, analizach i konsensusie państw członkowskich w przyszłości propozycje te mogą zostać wprowadzone do legislacji UE.

Zaletą Oceny Cyklu Życia (LCA) oprócz kompleksowego podejścia do analizowania złożonych struktur modelowania produktu są też możliwości zastosowanie do oceny ekoinnowacji technologicznych na różnym etapie ich tworzenia [Kowalski i inni, 2007].

2. Metodyka badań i analiza wyników dla zastosowania LCA do oceny ekoinnowacyjnego rozwiązania technologicznego

2.1. Metodyka badań

Na podstawie badań technologicznych przeprowadzonych w skali ćwierćtechnicznej dotyczących zastosowania wytworzonych polimerów z wykorzystaniem odpadów polistyrenu i odpadów nowolaku [Bajdur, 2011] dokonano oceny cyklu życia (LCA). Technika ta pozwoliła na identyfikację, kwantyfikację i ocenę potencjalnego wpływu wybranych do badań polimerów (flokulantów) na jakość środowiska. Analizę wykonano z wykorzystaniem programu SimaPro, wybierając do badań metodę

Eco-indicator 99. W metodzie tej zastosowano podejście ukierunkowane na ocenę w punktach pośrednich (kategorie wpływu) i/lub końcowych (kategorie szkody). Wpływ potencjalnych szkód na środowisko odnoszony jest do trzech kategorii szkód:

- zdrowie ludzkie wyrażone liczbą zgonów i lat życia w inwalidztwie (jednostką jest DALY – lata życia dotknięte niepełnosprawnością); model szkód opracowano na podstawie kategorii wpływu: czynniki rakotwórcze, wpływ związków organicznych i nieorganicznych na układ oddechowy, zmiany klimatu, promieniowanie jonizujące oraz zubożenie warstwy ozonowej;
- jakość ekosystemu, wyrażanych jako zanikanie określonych gatunków na określonym terenie i w określonym czasie (jednostką jest $\text{PDF} \times \text{m}^2 \times \text{rok}$ – część gatunków potencjalnie zagrożona); w modelu uwzględniono kategorie wpływu, takie jak: ekotoksyczność, zakwaszanie/eutrofizacja, zagospodarowanie terenu (obejmujące zajęcie terenu, jak również jego przekształcenie);
- zużycie zasobów surowcowych, określonych jako dodatkowa ilość energii niezbędna do przyszłego wydobycia surowców mineralnych i paliw stałych (jednostką jest nadwyżka energii wyrażona w MJ); model opracowano na podstawie wystarczalności zasobów surowców mineralnych i paliw kopalnych.

Poszczególne kategorie wpływu prezentowane są w różnych jednostkach, np. zmiany klimatu kwantyfikowane są w CO_2e – czyli równoważniku CO_2 zwanym śladem węglowym. Aby określić udział analizowanych procesów, dokonuje się normalizacji, czyli odnosi się badany udział do wpływów w poszczególnych kategoriach spowodowanych przez jednego Europejczyka w ciągu roku. Stąd wyniki LCA określają potencjalny wpływ na środowisko, w przeciwieństwie do oceny wpływu na środowisko, gdzie analizuje się dane lokalne. Ostatnim etapem LCA jest proces ważenia, w którym wyniki normalizacji mnoży się przez odpowiednio dobrane współczynniki ważności, a całkowity wpływ wyraża się w ekopunktach (Pt). Im wyższa wartość Pt, tym większy potencjalny wpływ na środowisko. Aby uzyskać wynik badań, konieczne jest prowadzenie LCA zgodnie z zaleceniami norm ISO 14040 i 14044 i uwzględnienie czterech etapów.

I etap to określenie:

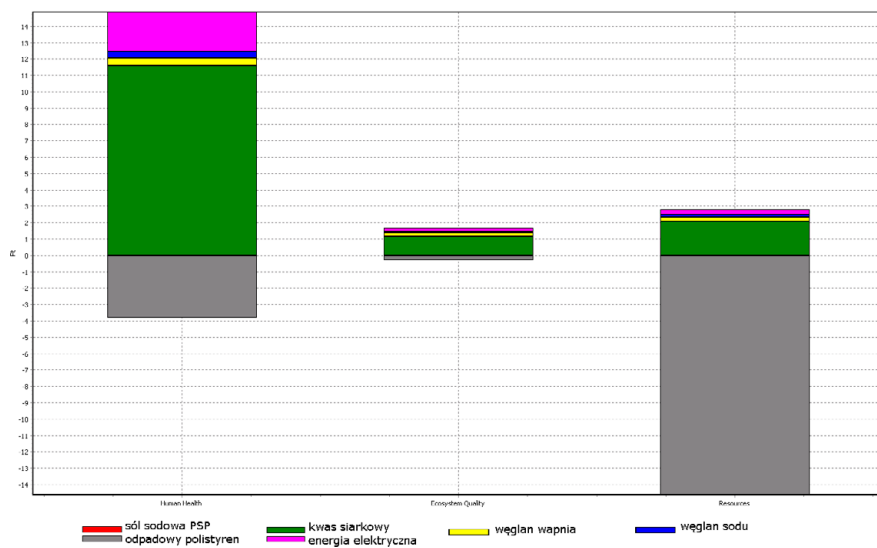
- celu analizy, tj. ustalenia wpływu na środowisko procesu produkcji nowego typu flokulantów uzyskanych z wykorzystaniem odpadów polimerowych,
- zakresu badań obejmującego proces modyfikacji chemicznej nowej generacji flokulantów.

W II etapie przeprowadza się analizę bilansową systemu, inwentaryzację danych na podstawie założeń technologicznych produkcji flokulantów polimerowych. Etap III to kwantyfikacja wyników w cyklu życia nowych flokulantów, a etap IV to interpretacja i opis wyników badań.

2.2. Analiza wyników badań

Nowej generacji polimery na bazie odpadów są rozpuszczalne w wodzie i mają właściwości flokulantów redukujących parametry zanieczyszczeń, np. w wodach kopalnianych. Wyniki analiz technologicznych potwierdziły, iż istnieje możliwość wykorzystania modyfikowanych odpadów polimerowych (polistyrenu i nowolaków) jako nowych produktów (flokulantów), które mogą być stosowane w procesie oczyszczania ścieków przemysłowych. Wyniki oceny procesu metodą LCA potwierdziły, iż istnieje możliwość uzyskania korzyści dla środowiska (wartości ujemne), wynikająca z wykorzystania odpadów, a przez to możliwość zmniejszenia zużycia zasobów pierwotnych. Na histogramach ważenia przedstawiono wpływ na środowisko potencjalnych procesów produkcji flokulantów (rys. 2–4).

Rysunek 2. Histogram ważenia dla produkcji polimeru (pochodnej sulfonowej polistyrenu) w trzech kategoriach szkód



Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem programu SimaPro.

Histogramy ważenia procesu produkcji polimerów pokazują, że we wszystkich kategoriach szkód: zdrowia ludzkiego, jakości ekosystemu oraz zużycia zasobów największy negatywny wpływ ma kwas siarkowy, który wykorzystuje się do wytwarzania flokulantów polimerowych.

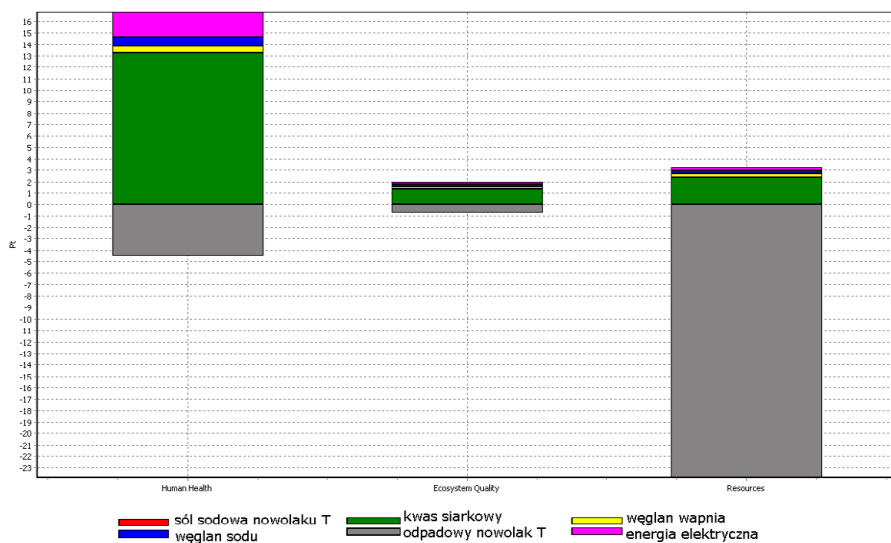
Znacznie mniejsze udziały mają węglan wapnia, soda oraz energia elektryczna.

Przedstawiony histogram ważenia procesu produkcji polimeru pokazuje, że największy wpływ negatywny ma w kategorii zdrowia ludzkiego chlorek cyny oraz kwas azotowy. Wyniki LCA nowych flokulantów wykazały, że pozyskiwanie flokulantów z odpadów nowolaku jest dla środowiska korzystne, ze względu na dużą toksyczność odpadów żywic wytwarzających fenol pod wpływem czynników fizycznych, np. na składowiskach odpadów.

Analiza LCA wykazała, że ponowne wykorzystanie wybranych odpadów polimerowych jest właściwym kierunkiem do otrzymania substratów w celu pozyskania flokulantów polimerowych, których synteza ogranicza negatywny wpływ na środowisko.

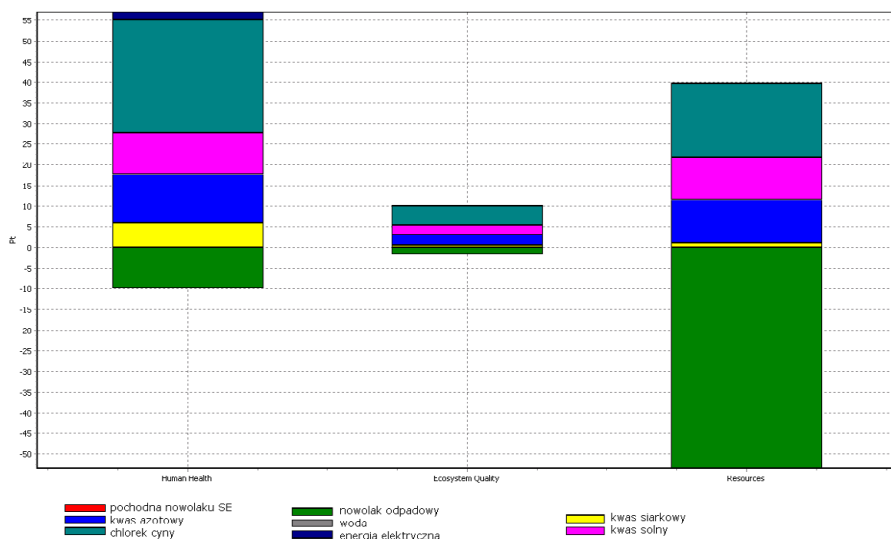
Prezentowane wyniki mogą być podstawą dla ekoprojektowania oraz do podejmowania decyzji do wdrażania rozwiązań technologicznych przyjaznych dla środowiska. Dodatkowo, gdy są one opłacalne ekonomicznie i społecznie akceptowalne, spełniają podstawowe kryteria zrównoważonego rozwoju.

Rysunek 3. Histogram ważenia dla produkcji polimeru (pochodnej sulfonowej nowolaku) w trzech kategoriach szkód



Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem programu SimaPro (Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie).

Rysunek 4. Histogram ważenia dla produkcji polimeru (pochodnej aminowej nowolaku) w trzech kategoriach szkód



Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem programu SimaPro (Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie).

Zakończenie

Obecnie bardzo ważnym elementem w innowacjach technologicznych stała się środowiskowa ocena cyklu życia (LCA). Wykorzystanie LCA do oceny nowych rozwiązań technologicznych w perspektywie pozwoli na zachowanie zasad zrównoważonego rozwoju z uwzględnieniem bezpieczeństwa środowiskowego. W artykule przedstawiono wpływ procesu potencjalnej produkcji nowej generacji polimerów na zdrowie ludzkie, jakość ekosystemu oraz zużycie zasobów. Ocena taka jest coraz częściej stosowana w procesach podejmowania decyzji inwestycyjnych i stanowi jedno z kryteriów zrównoważonego rozwoju. Analiza prowadzona z wykorzystaniem LCA nie zastąpi konieczności wykonywania ocen oddziaływania na środowisko, ale stanowi dobrą metodę, która pozwala rzetelnie i wiarygodnie opracować wyniki badań w cyklu życia, co jest podstawowym celem ekoinnowacji.

Działania skierowane na upowszechnienie aplikacji metody LCA pozwolą osiągnąć wysoki poziom ekologiczny w projektowanych technologiach. Analiza LCA skierowana jest na eliminację nieprzyjaznych środowisku technologii i pozwala na wybór najlepszych technicznych rozwiązań w aspekcie ochrony środowiska [Bajdur, 2006]. Istotne znaczenie

ma szacowanie ryzyka zdrowotnego będącego wieloetapową procedurą umożliwiającą między innymi określenie wpływu substancji chemicznych znajdujących się w środowisku na zdrowie ludzi. Wyniki LCA mogą być stosowane nie tylko do podejmowania decyzji wewnątrz organizacji, ale udoskonalenia w całym łańcuchu wartości, tzn. doboru odbiorców, tworzenia symbiozy gospodarczej, co jest zgodne z założeniami gospodarki o obiegu zamkniętym.

Literatura

- Bajdur W.M. (2011), *Eko-polielektrolity syntetyczne redukujące ładunki zanieczyszczeń w ściekach i wodach przemysłowych*, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.
- Bajdur W.M. (2006), *Useage possibilites of produkt's life cycle environmental assesment in environmental and work safety management*, w: L. Kurzak (red.) *Production and services processes*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- Bundesministerium fur Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2018), *GreenTechmade in Germany*, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/ Pools/Broschueren/greentech_2018_bf.pdf, dostęp: 23.09.2018.
- Komisja Europejska (b.d.), *Ekoinnowacje, klucz do przyszłej konkurencyjności Europy*, s. 1, ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/ecoinnovation/pl.pdf, dostęp: 1.10.2018.
- Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady: Tworzenie jednolitego rynku dla produktów ekologicznych Poprawa sposobu informowania o efektywności środowiskowej produktów i organizacji, COM/2013/0196 final.
- Kowalski Z., Kulczycka J., Góralczyk M. (2007), *Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA)*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kulczycka J. (2004), *Ekonomiczna ocena cyklu życia (LCA) nową techniką zarządzania środowiskowego*, Wyd. Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków.
- Łunarski J. (2006), *Systemy zarządzania środowiskowego*, Wyd. Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- Ozdoba J. (2015), *Ekoinnowacyjność polskiej gospodarki*, „Polska Izba Ekologii”, Katowice, www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2015/T1/t1_0151.pdf dostęp: 10.07.2018.
- Zalecenie KE z dnia 9 kwietnia 2013 r. w sprawie stosowania wspólnych metod pomiaru efektywności środowiskowej w cyklu życia produktów i organizacji oraz informowania o niej (2013/179/UE).

Streszczenie

W krajach Unii Europejskiej monitorowanie strategii zrównoważonego rozwoju dokonywane jest w 17 kluczowych dziedzinach, m.in. zrównoważonej produkcji i konsumpcji, gdzie istotne znaczenie odgrywa wskaźnik wydajności zasobów. Dodatkowo prowadzi się oceny w zakresie rozwoju i wdrażania ekoinnowacji, tj. działań, które przyczyniają się do zmniejszenia zużycia zasobów naturalnych i ograniczenia emisji szkodliwych substancji w całym cyklu życia. Istotne znaczenie

odgrywają ekoinnowacje technologiczne. Technika, która pozwala na analizę wpływów na środowisko nowych rozwiązań, jest LCA (Life Cycle Assessment). Myślenie w kategoriach oceny cyklu życia umożliwia rzetelną ocenę efektywności ekoinnowacji technologicznych. W artykule przedstawiono możliwości zastosowania LCA do badania wpływu na środowisko potencjalnych technologii produkcji z wykorzystaniem odpadów polimerowych. Uzyskane produkty (flokulanty) poprzez chemiczną modyfikację mogą być konkurencyjnymi, tańszymi produktami w stosunku do stosowanych obecnie flokulantów polimerowych. Projektowanie technologii wytwarzania flokulantów z użyciem odpadów pozwala na zaproponowanie technologii zmniejszających niekorzystny wpływ na środowisko.

Słowa kluczowe

ekoinnowacje technologiczne, zrównoważony rozwój, LCA, odpady polimerowe

Technological eco-innovations in the aspect of sustainable development (Summary)

In the European Union countries, the monitoring of the sustainable development strategy is carried out in seventeen key areas, including sustainable production and consumption, where the resource efficiency indicator plays a significant role. In addition, evaluations are conducted in the scope of development and implementation of eco-innovation, i.e. activities that contribute to reducing the use of natural resources and reducing the emission of harmful substances throughout the life cycle. Eco-innovation in technology is important subject. The technique that allows the analysis of environmental impacts of new solutions is LCA (Life Cycle Assessment). Life cycle thinking enables a reliable assessment of the effectiveness of eco-technological innovations. The article presents the possibilities of using LCA to study the environmental impact of potential production technologies using polymer waste. Obtained products (floculants) through chemical modifications may be competitive, cheaper products in relation to currently used polymeric floculants. Designing technology for floculants production using waste allows us to propose technologies that reduce adverse impact on the environment.

Keywords

technological eco-innovation, sustainable development, LCA, polymer waste

