

# 15

## ZASTOSOWANIE PODEJŚCIA CYKLU ŻYCIA W KREOWANIU ROZWIĄZAŃ EKOINNOWACYJNYCH

### 15.1 WPROWADZENIE

Znaczenie i rola technologii środowiskowych w rozwoju gospodarki światowej rośnie. Na rynek dostarczane są nowe rozwiązania wykorzystujące innowacje. Ważne jest, by były to technologie ekoinnowacyjne, które w trakcie całego cyklu życia – pozwalają na ograniczenie ryzyka środowiskowego, zanieczyszczenia i innych negatywnych oddziaływań wynikających z wykorzystania zasobów (w tym energii) w stosunku do rozwiązań alternatywnych [13]. Podejście cyklu życia jest kluczowe w środowiskowej ocenie rozwiązań innowacyjnych ponieważ w sposób systemowy ujmuje obciążenia środowiskowe. Wśród technik zarządzania środowiskowego, służących ocenie środowiskowej nowatorskich rozwiązań, na szczególną uwagę zasługuje ocena cyklu życia.

### 15.2 ISTOTA PODEJŚCIA OPARTEGO NA CYKLU ŻYCIA WYROBU

Myślenie w kategoriach cyklu życia (*Life Cycle Thinking*) jest podejściem systemowym, często określanym mianem perspektywy holistycznej. Zgodnie z tym podejściem produkt, usługa lub technologia są oceniane z punktu widzenia możliwości ograniczania potencjalnych oddziaływań na środowisko odnoszących się do pełnego cyklu życia wyrobu. W krajach wysoko rozwiniętych procesy przemysłowe nie stanowią obecnie najbardziej istotnych oddziaływań środowiskowych. Źródłem znacznie silniejszej presji na środowisko są późniejsze fazy cyklu życia, w tym fazy wykorzystania produktu lub zagospodarowania produktu będącego w fazie pokonsumpcyjnej [20].

Podejście do zarządzania środowiskowego w kategoriach cyklu życia polega na podejmowaniu działań ukierunkowanych na zmniejszenie całkowitego oddziaływania na środowisko, które może wystąpić w każdej fazie cyklu życia wyrobu, w tym na etapie projektowania, produkcji, użytkowania/konsumpcji, w fazie pokonsumpcyjnej, na przykład podczas zagospodarowania odpadów. Podstawą tego podejścia jest identyfikowanie zagrożeń środowiskowych w każdej z tych faz. Pozwala to na uniknięcie „przesuwania” zagrożeń z jednej fazy cyklu życia do innej. Dzięki temu możliwe jest ograniczenie wpływu na środowisko na tym etapie cyklu życia produktu, na którym występuje możliwość najefektywniejszego jego zmniejszenia i jednocześnie ograniczenia przez zastosowanie odpowiednich narzędzi i technik [12].

Zgodnie z tym podejściem każdy podmiot zaangażowany w poszczególne fazy cyklu życia produktu „od kołyski do grobu” ponosi odpowiedzialność za powodowanie presji na środowisko i z tego tytułu powinien podjąć odpowiednie działania, biorąc pod uwagę wszystkie powiązane efekty zewnętrzne starając się zredukować to oddziaływanie w takim stopniu, w jakim jest to możliwe.

Podjęcie to może mieć charakter jakościowy lub ilościowy. W celu określenia skwantyfikowanego, i zagregowanego potencjalnego oddziaływania na środowisko związanego z danym produktem lub technologią w poszczególnych fazach cyklu życia, stosuje się odpowiednie narzędzia, w tym Oceny Cyklu Życia (Life Cycle Assessment).

Koncepcja oceny cyklu życia po raz pierwszy została sformułowana w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Problemy związane z ograniczonością zasobów i surowców spowodowały zainteresowanie poszukiwaniem sposobów obliczania całkowitego zużycia energii potrzebnej do przeprowadzenia procesów produkcyjnych. W jednej z pierwszych publikacji na ten temat w roku 1963 Harold Smith przedstawił obliczenia całkowitego zapotrzebowania na energię podczas wytwarzania chemicznych półproduktów i produktów. Na przełomie lat 60 i 70 przeprowadzone badania dla przedsiębiorstw, w tym między innymi dla Coca Cola Company, poszukując sposobów ograniczania emisji do środowiska na przykład poprzez sprawdzenie, które z pojemników na napoje charakteryzuje się najmniejszym oddziaływaniem na środowisko. Proces obliczania wykorzystanych do produkcji surowców oraz uwalnianych do środowiska zanieczyszczeń stosowany w USA określany był jako Resource and Environmental Profile Analysis (REPA), który w Europie znany jest pod nazwą Ecobalance [2]. W roku 1984 the Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA) opublikował raport, w którym po raz pierwszy przedstawiono metodę oceny środowiskowej oraz zaprezentowano listę danych potrzebnych do przeprowadzenia analizy.

Lata 1970-1990 to czas tworzenia koncepcji LCA na podstawie różnych podejść, terminologii i osiągniętych rezultatów. Wykonywane wówczas analizy opierały się na rozmaitych metodach, brak było również wypracowanych podstaw teoretycznych.

Okres 1990-2000 nazywany jest dekadą standaryzacji LCA na świecie. Pierwszą organizacją międzynarodową, która rozpoczęła nadzór nad postępami LCA było Towarzystwo Toksykologii i Chemii Środowiskowej (Society of Environmental Toxicology and Chemistry SETAC), które podjęło się koordynowania prac praktyków i naukowców na rzecz harmonizacji, doskonalenia narzędzia oraz przyjęcia wspólnej terminologii i metodologii [22]. Od roku 1994 w proces standaryzacji metody LCA zaangażowała się Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (International Organization for Standardisation (ISO). Grupy robocze SETAC koncentrowały się na rozwinięciu i harmonizacji metod, ISO podjęła się zadania standaryzacji metod i procedur. Instytucje te utworzyły organizację międzynarodową International Life Cycle Partnership znaną pod nazwą Life Cycle Initiative. Celem tej organizacji jest wdrażanie myślenia w kategoriach cyklu życia w praktyce oraz doskonalenie istniejących narzędzi, w tym oceny cyklu życia.

Obecnie informacje na temat cyklu życia są często wykorzystywane w dyskusjach nad nowymi strategiami politycznymi. Rola i znaczenie narzędzia, jakim jest LCA, rośnie. Komisja Europejska podkreśla, że LCA jest najlepszym narzędziem oceny potencjalnych oddziaływań środowiskowych, w związku z czym narzędzie to pełni ważną rolę w kluczowych instrumentach równoważenia konsumpcji i produkcji oraz w zarządzaniu środowiskowym.

### 15.3 PODSTAWY OCENY CYKLU ŻYCIA

#### 15.3.1 Definicja i zakres oceny cyklu życia

Ocena cyklu życia (LCA – Life Cycle Assessment) jest techniką zarządzania środowiskowego, służącą do oceny zagrożeń środowiskowych, stwarzającą możliwość ich identyfikacji, jak również hierarchizacji, a tym samym poszukiwania rozwiązań technologicznych, mających zachować optymalną jakość środowiska. Podstawowym celem jest uwzględnianie wszystkich skutków środowiskowych, bezpośrednich i pośrednich, które mogą potencjalnie wystąpić w związku z wytworzeniem produktu lub usługi. Jest to interdyscyplinarne narzędzie służące do kompleksowego określenia oddziaływania na środowisko. W podejściu tym analizowane są wszystkie etapy życia produktu lub usługi:

- wydobycie surowców naturalnych,
- ich przeróbka,
- wytwarzanie półproduktów,
- produkcja zasadnicza,
- instalacja,
- konsumpcja, czyli eksploatacja, naprawy,
- sposób usunięcia zużytego produktu, w tym recykling,
- utylizacja lub zdeponowanie na składowisku [11, 10, 14].

Głównym założeniem techniki LCA, a zarazem jej zaletą jest dążenie do uwzględnienia wszystkich czynników wpływających na środowisko, które są związane z towarem lub usługą, całym procesem produkcji, fazami jego użytkowania czy zagospodarowania odpadów.

Stosowanie techniki LCA w zarządzaniu środowiskowym daje bardzo wymierne rezultaty, gdyż pozwala zarówno globalnie spojrzeć na analizowany proces, jak i poszczególne jego etapy. Precyzuje, w którym miejscu procesu powstają określone zagrożenia środowiskowe. Na podstawie wyników analizy można wybrać rozwiązania pozwalające na efektywne ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko, bazując nie tylko na hipotetycznych założeniach i przewidywaniach, ale przede wszystkim na inwentaryzacji danych wejściowych i wyjściowych rozpatrywanego procesu. LCA może zostać wykorzystana w wielu procesach produkcyjnych, niezależnie od przedmiotu oceny, w każdej gałęzi przemysłu.

Na podstawie analiz LCA można ocenić nie tylko oddziaływanie wyrobów lub technologii na zdrowie człowieka, jakość ekosystemu, zużycie zasobów, ale można również wskazać surowce lub też procesy produkcyjne generujące największe obciążenie środowiska.

Ocena cyklu życia według oficjalnej definicji podanej przez Komisję Europejską to proces zbierania i oceny danych „wejściowych” i „wyjściowych” wyrobu, jak i potencjalnego wpływu na środowisko w całym jego cyklu życia. Według definicji zaproponowanej przez Towarzystwo Toksykologii i Chemii Środowiskowej (Society of Environmental Toxicology and Chemistry SETAC) LCA dostarcza nam podejścia i metod dla identyfikacji i oszacowania obciążeń środowiskowych związanych z cyklem życia materiałów i usług, „od kołyski do grobu”.

Zgodnie z normą PN-EN ISO 14040:2009 ocena cyklu życia jest skutecznym narzędziem zaprojektowanym dla celów przeprowadzania oceny istniejących produktów, technologii, usług, stosowanym dla celów identyfikacji "słabszych pod względem

ekologicznym” etapów procesu wytwórczego. Jest to technika oceny środowiskowej oraz potencjalnych oddziaływań związanych z produktem przez:

- skompilowanie inwentaryzacji potrzebnej energii i materiału oraz emisji substancji uwalnianych do środowiska,
- ocenę potencjalnych oddziaływań środowiskowych związanych ze zidentyfikowanymi wejściami i wyjściami,
- interpretacji uzyskanych rezultatów zgodnie z celem przeprowadzenia badania.

### 15.3.2 Ogólny opis metodyki LCA

Technika LCA została opisana przez Międzynarodowy Komitet Normalizacyjny w normach z serii ISO 1404 [7, 8]. Metodyka LCA obejmuje cztery etapy [7]:

- Etap 1: Określenie celu i zakresu badania.
- Etap 2: Inwentaryzacja istotnych emisji i wykorzystanych zasobów, które są związane z wytworzeniem danego produktu/usługi.
- Etap 3: Ocena oddziaływania produktu/usługi na środowisko z uwzględnieniem różnych wskaźników/zagadnień środowiskowych (zmiany klimatu, zakwaszenia, zdrowia człowieka, zużycia energii nieodnawialnej itp.).
- Etap 4: Interpretacja wyników otrzymanych na etapie opracowania oceny wpływu w odniesieniu do celów badania.

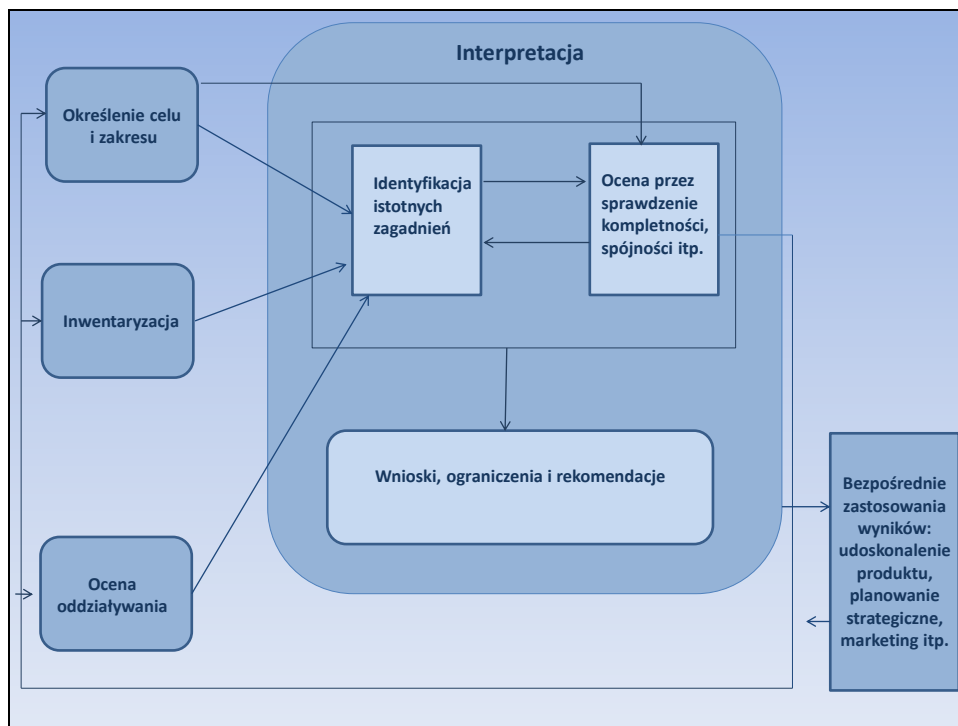
W etapie 1 wybiera się jednostkę funkcjonalną. Jednostka funkcjonalna jest to usługa lub funkcja, według której oceniane będą alternatywne wyroby. Ponadto ustalane są granice analizowanego systemu. Zadaniem jednostki funkcjonalnej jest dostarczenie płaszczyzny odniesienia dla normalizowania danych wejściowych i wyjściowych systemu. Z tego względu powinna być ona mierzalna oraz dokładnie zdefiniowana.

W kolejnym etapie 2 sporządza się inwentaryzację, w ramach której analizowany jest zbiór wejść i wyjść. Dane i granice systemu są poddane weryfikacji. Dla wybranej jednostki funkcjonalnej analizowane i zbierane są dane ilościowe o wielkości emisji, ilości zużytych materiałów, energii i inne. Dane te przyporządkowane są do każdego procesu jednostkowego, a ich inwentaryzacja opiera się na zasadach bilansu materiałowego i energetycznego.

W etapie 3 dokonuje się zdefiniowania kategorii wpływu na środowisko a następnie szacowanie, w jakim stopniu poszczególne elementy wpływają na środowisko. Przykładami kategorii wpływu są: zubożanie zasobów abiotycznych, efekt cieplarniany, zubożenie warstwy ozonowej, zakwaszenie, eutrofizacja itp.

Prace podjęte w etapie 4 obejmują sformułowanie wniosków z przeprowadzonej, zgodnie z przyjętym w pierwszym etapie celem, analizy oraz weryfikację uzyskanych wyników i sposobu ich prezentacji. Weryfikując wyniki sprawdzana jest kompletność i poprawność danych, a w przypadku ich braku zaleca się uzupełnienie lub powtórzenie analizy. Na podstawie wniosków podejmuje się decyzje mające zminimalizować niepożądane oddziaływanie na środowisko produktu lub usługi. Schemat metodyki LCA przedstawia rys. 15.1.

Technika LCA jest narzędziem złożonym, wymagającym wiedzy eksperckiej z różnych dziedzin, w tym zaangażowania ekspertów, w zakresie technologii wykorzystywanych do wytworzenia danego wyrobu, procesu lub usługi.



Rys. 15.1 Schemat metodyki LCA

Źródło: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework, ISO 14040:2006

#### 15.4 WYKORZYSTANIE LCA W OPRACOWANIU ROZWIĄZAŃ EKOINNOWACYJNYCH

Stosowanie LCA rekomendowane jest w wielu dokumentach organizacji o zasięgu światowym oraz komunikatach Komisji Europejskiej. Przykładami polityk Unii Europejskiej powołujących się na celowość i zasadność stosowania LCA są:

- Zintegrowana polityka produktowa (Integrated Product Policy – IPP) [3],
- Plan działania na rzecz zrównoważonej konsumpcji i produkcji oraz zrównoważonej polityki przemysłowej (EU Action Plan on sustainable consumption and production and sustainable industrial policy) [5].
- Plan Działania na rzecz Ekoinnowacji (The Ecoinnovation Action plan Eco-AP) [4].
- Zalecenie Komisji z dnia 9 kwietnia 2013 r. w sprawie stosowania wspólnych metod pomiaru efektywności środowiskowej w cyklu życia produktów i organizacji oraz informowania o niej [6].

Na świecie obserwuje się coraz większe zainteresowanie wykorzystaniem techniki LCA do oceny technologii środowiskowych, w tym rozwiązań ekoinnowacyjnych, których rozwój i powszechne wdrożenie, zgodnie z prowadzoną polityką Unii Europejskiej, w horyzontach średnioterminowych i długoterminowych spowoduje zarówno wzrost gospodarczy i konkurencyjność gospodarek krajów Unii Europejskiej, jak i istotne równoważenie produkcji i konsumpcji.

Technologie środowiskowe (environmental technologies) to technologie (działania), które w stosunku do innych konkurujących z nimi technologii (działań) są relatywnie mniej uciążliwe dla środowiska: chronią środowisko, generują mniej zanieczyszczeń, wykorzystują mniejsze ilości zasobów w bardziej racjonalny sposób, zapewniają powtórne wykorzystanie odpadów, zapewniają unieszkodliwienie wytwarzanych odpadów w bardziej racjonalny sposób, niż technologie, dla których są alternatywami [21]. Technologie

eko-innowacyjne to innowacje występujące w dowolnej postaci, których wynikiem lub celem jest osiągnięcie celów zrównoważonego rozwoju przez zmniejszenie negatywnego oddziaływania na środowisko, zwiększenie odporności na obciążenia środowiskowe lub zapewnienie efektywniejszego i bardziej odpowiedzialnego korzystania z zasobów naturalnych [5, 18].

LCA ma zastosowanie w identyfikacji możliwości poprawy parametrów środowiskowych innowacyjnych technologii, linii produkcyjnych, produktów i usług, organizacji pracy instytucji oraz oceny jakości środowiskowej materiałów. Może ona stanowić wsparcie przedsiębiorcy lub innych instytucji podczas podejmowania decyzji w zakresie prowadzonej działalności przemysłowej, takich jak ustalanie priorytetów lub przeprowadzenie zmian. Narzędzie to może zostać wykorzystane przez przedsiębiorcę dla następujących celów:

- planowania udoskonaleń lub zmiany technologii,
- kreowania ekologicznego wizerunku,
- budowania przewagi konkurencyjnej,
- doskonalenia swojej działalności.

Teoretyczna ocena jakości środowiskowej zastosowanych w przyszłości materiałów i rozwiązań, zgodnie z przedstawionym w niniejszej publikacji podejściem, obejmuje pełny cykl życia uwzględniając oddziaływania środowiskowe zarówno na etapie produkcji, jak również w trakcie użytkowania, recyklingu lub utylizacji produktów. Podejście to wpisuje się w nurt innowacyjnej oceny technologii, który koncentruje się na możliwych, przyszłych aspektach opracowywanych wyrobów. Dzięki innowacyjnej ocenie technologii naukowcy rozpoczynają proces oceny w fazie badań i rozwoju, na bardzo wczesnym etapie kreowania innowacji poszukując informacji o prawdopodobnych skutkach ich zastosowania. Na podstawie otrzymanych rezultatów oceny podejmowane są dalsze prace związane z tworzeniem nowych materiałów i rozwiązań [15, 17].

Ocena środowiskowa w całym cyklu życia produktów innowacyjnych stanowi duże wyzwanie ze względu na wiele niepewności, które związane są zwłaszcza z nowymi materiałami. W związku z powyższym, opracowywanie nowych i udoskonalonych specjalistycznych materiałów dla zastosowań przemysłowych, uwzględniające aspekty środowiskowe wymagają szczegółowych analiz [1]. Innowacyjne materiały mają znaczący wpływ na wiele branż i wydają się być szczególnie obiecujące dla rozwoju bardziej wydajnych, lżejszych i posiadających wysoką wytrzymałość materiałów.

Przykładem innowacyjnych materiałów, będących przedmiotem dużego zainteresowania są produkty przewodzące ciepło oparte na wykorzystaniu materiałów węglowych. Szczególną uwagę przywiązuje się do produktów grafenu i jego stosowania. Wiele badań przeprowadzono w celu oceny ich potencjalnego wpływu na środowisko i zdrowie człowieka. Są one opracowywane w wielu sektorach przemysłowych na świecie. Nowe, specjalistyczne materiały posiadające podwyższone własności przewodzenia termicznego są wciąż doskonalone.

Zastosowanie kompozytów na bazie grafenu, jako alternatywy dla tradycyjnych metali, może wpłynąć na zmniejszenie wagi samolotu, co w konsekwencji prowadzi do mniejszego zużycia paliwa. Wybitne właściwości grafenu zwiększają również wydajność zaawansowanych procesów odnawialnych źródeł energii, przez zmniejszenie wagi łopat turbin wiatrowych oraz zwiększenie efektywności energetycznej. Wykorzystanie materiałów węglowych może spowodować ograniczenie rozmiaru instalacji chłodzącej w

samochodzie poprzez zwiększenie możliwości odprowadzania ciepła. Ponadto silnik i inne części samochodu mogą osiągać mniejsze rozmiary i wagę. Dzięki innowacyjnym materiałom silnik mógłby pracować przy bardziej optymalnej temperaturze. Czynniki te mogą przyczynić się do bardziej efektywnego zużycia paliwa a w konsekwencji niezwykle właściwości innowacyjnych materiałów mogą przynieść korzyści dla gospodarki i środowiska.

### **15.5 OCENA ŚRODOWISKOWA MATERIAŁÓW O PODWYŻSZONYCH WŁASNOŚCIACH PRZEWODZENIA CIEPŁA**

Podejście do zarządzania środowiskowego w kategoriach cyklu życia w kategoriach cyklu życia zostało przetestowane przez zespół Instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, który przeprowadził ocenę wpływu na środowisko innowacyjnej technologii produkcji bardzo wytrzymałego kompozytu z osnową metalową Al-MMC posiadającego podwyższone własności przewodzenia termicznego. Analiza została przeprowadzona w ramach międzynarodowego projektu Odlewanie kompozytów Al-MMC o wysoce efektywnym przewodzeniu termicznym (tytuł oryginalny: Smart Thermal conductive Al MMCs by casting), akronim: THERMACO. Projekt THERMACO zrealizowano w ramach 7. PR UE w latach 2013-2016. Projekt koordynowany był przez Chemnitz University of Technology. Praca naukowa finansowana ze środków finansowych na naukę w latach 2013-2016 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej. Przedmiotem badań był materiał oparty o standardowo odlane aluminium, którego struktury przewodzące ciepło zbudowane są z węglowego grafenu, diamentu lub grafitu pirolitycznego (TPG).

Celem przeprowadzonych w projekcie badań było określenie oddziaływań środowiskowych nowych materiałów w odniesieniu do istniejących rozwiązań technologicznych oraz zidentyfikowanie kluczowych czynników wpływających na jakość środowiskową zaprojektowanych kompozytów. Podstawową funkcją realizowaną przez te elementy strukturalne jest transfer ciepła między źródłem ciepła a radiatorom. Zastosowanie dodatków węgla do metali w postaci zaawansowanych materiałów krystalicznych może potencjalnie przyczynić się do poprawy skuteczności tego procesu.

Badane kompozyty będą mogły być w przyszłości zastosowane w praktyce, między innymi w mikroelektronice, jako element do wykorzystania w konstrukcji siłowni wiatrowych oraz w silnikach spalinowych o najwyższej wydajności. Kompozyty na osnowie MMC stanowią aktualnie jeden z najbardziej obiecujących materiałów spełniających zarówno obecne, jak i przyszłe potrzeby w zakresie zarządzania ciepłem [16]. Materiały te zaliczyć można do specjalnej grupy kompozytów składających się z produktów węglowych zamkniętych w metalowych kopertach, które mogą być wykorzystane do formowania części MMC – są to kompozyty z osnową metalową. Części te charakteryzują się wysoką trwałością i wytrzymałością [19]. Mogą one zostać wykorzystane dla celów odprowadzania ciepła, jako substytut skomplikowanych i kosztowo nieefektywnych wieloczęściowych systemów chłodzących, które stosowane były do tej pory.

W ramach przeprowadzonych badań opracowano i analizowano wariantowe scenariusze wytwarzania oraz zastosowania kompozytów Al-MMC w silnikach samochodowych oraz układach elektrycznych a także wynikające z tego konsekwencje w zakresie zagospodarowania poużytkowego komponentów technicznych i/lub powstałych odpadów.

W analizie przyjęto różne komplementarne podejścia do oceny:

- uproszczoną ocenę wskaźnikową teoretycznych wariantów materiałowych rozpatrywanych kompozytów z uwzględnieniem jedynie efektów ciągnionych wynikających ze składu materiałowego, która służyła określeniu kierunków badawczych oraz opracowania koncepcji rozwiązań,
- ocenę poszczególnych typów kompozytów z uwzględnieniem pełnej oceny cyklu życia oraz wyników przeprowadzonych badań własności materiałów w celu ich porównania i wskazania korzystniejszych rozwiązań,
- ocenę elementów funkcjonalnych w opracowanych rozwiązaniach technicznych dla silnika samochodowego oraz płyty montażowej przetwornika prądu również przeprowadzoną w ujęciu pełnego cyklu życia oraz wyników testów technicznych tych elementów mającą na celu sprawdzenie ich środowiskowej efektywności w konkretnych zastosowaniach.

Rozważanymi jednostkami funkcjonalnymi w analizie LCA były odpowiednio elementy techniczne odprowadzające ciepło spełniające funkcję rozpraszania i odprowadzania ciepła, bądź też standaryzowane, według parametrów funkcjonalnych, warianty materiałowe.

W analizie uwzględnione zostały procesy produkcji poszczególnych typów materiałów rozważanych jako podstawowe w wykonaniu elementów funkcjonalnych, w tym produkcji materiałów węglowych oraz metali, procesy produkcji materiałów kompozytowych, w tym proces odlewania aluminium, produkcji proszku diamentowego, zredukowanego tlenku grafenu i grafitu pirolitycznego oraz charakterystyki procesów wytwarzania elementów funkcjonalnych.

Inwentaryzacja danych wymagała zarówno wykorzystania danych z dostępnych baz danych – baza EcoInvent 3, jak również modelowych opracowań poszczególnych procesów produkcyjnych, w tym procesów wytwórczych materiałów węglowych. Dane wejściowe do oceny modelu produkcji kompozytów zostały opracowane na podstawie szczegółowych studiów literaturowych, uzyskanych informacji technicznych, kontaktów ze stowarzyszeniami przemysłowymi, obliczeń własnych oraz wyników modelowania procesów w oparciu o założenia ogólne i teoretyczne, w tym również w oparciu o charakterystyki maszyn i procesów wykorzystanych w produkcji.

Istotne były również przeprowadzone niezależnie analizy dotyczące gospodarki odpadami zarówno w fazie produkcji materiałów i komponentów funkcjonalnych przewodzących ciepło, jak i w fazie pokonsumpcyjnej. Wyniki analiz scenariuszy gospodarki odpadami zostały włączone odpowiednio do analizy LCA. Analizy LCA dla wybranych prototypowych zastosowań materiałów Al-MMC z wkładami węglowymi uwzględniały wnioski z pomiarów parametrów technicznych wykonanych dla opracowanych w projekcie elementów funkcjonalnych.

W analizie LCA wykorzystano narzędzie SimaPro 8.1. Przeprowadzono analizę komparatywną dla wszystkich wariantów technologicznych i materiałowych. Analiza porównawcza została wykonana według metody Eco-Point z oceną wyrażoną dla wyróżnionych oddziaływań środowiskowych. Pozwoliło to na weryfikację końcową wyników analiz i ich założeń. Analizę przeprowadzono dla wszystkich oddziaływań środowiskowych ze szczególnym uwzględnieniem wybranych aspektów: efektywności energetycznej bilansu węglowego. W ocenie uwzględniono istniejące sposoby ograniczania oddziaływań środowiskowych. Opracowano ocenę globalnych efektów środowiskowych w



scenariuszach wykorzystania nowych materiałów i elementów dla wybranych zastosowań w kontekście europejskim.

Wskaźnikowa ocena efektów środowiskowych dla teoretycznych wariantów wykorzystania nowych rozwiązań materiałowych zastosowanych jako potencjalne elementy odprowadzania ciepła pozwoliła stwierdzić, że z teoretycznego punktu widzenia wysoce korzystnym środowiskowo jest łączenie aluminium z różnymi formami węgla. Jednakże w niektórych aspektach, takich jak emisja gazów cieplarnianych o efektywności środowiskowej przyjętych rozwiązań decydować będą realne korzyści środowiskowe. W przypadku wariantów materiałowych jako korzyść środowiskową przyjęto zmniejszenie ilości zużywanego do produkcji materiału z uwagi na większą efektywność opracowanych rozwiązań. Drugą istotną korzyścią środowiskową była redukcja masy elementów technicznych stosowanych w pojazdach skutkująca zmniejszeniem ilości zużywanego paliwa. Wyniki analiz potwierdziły, że koszty środowiskowe związane z wytworzeniem/produkcją tych kompozytów są relatywnie mniejsze w porównaniu do dotychczas stosowanych rozwiązań.

Uzyskane wyniki były podstawą do zaprojektowania i wytworzenia, dla celów demonstracyjnych, kompozytów materiałowych, które mogą zostać wykorzystane w różnych rozwiązaniach technologicznych. Jednocześnie pozwoliły one na dokonanie oceny istotnych oddziaływań wraz z określeniem jednostkowych wskaźników obciążenia środowiska dla całego ciągu produkcyjnego oraz dla poszczególnych procesów technologicznych. Dały podstawę do prognozowania oddziaływań środowiskowych związanych z produkcją kompozytów MMC oraz opracowanie rekomendacji dotyczących ich minimalizacji.

Ocena cyklu życia wybranych wariantów materiałowych oraz procesów wytwarzania komponentów funkcjonalnych pozwoliła na opracowanie rekomendacji w zakresie doboru materiałów i procesów technologicznych. Stanowiła ona podstawę wskazania korzystniejszych scenariuszy gospodarowania odpadami w poszczególnych fazach produkcji MMC w tym: produkcji materiałów, produkcji samego MMC oraz jego wykorzystania w poszczególnych zastosowaniach, fazie konsumpcyjnej i fazie pokonsumpcyjnej.

Badania wykazały, że podejście oceny cyklu życia jest właściwym i skutecznym sposobem oceny środowiskowej innowacyjnych rozwiązań i pozwala na systemowe ujęcie oddziaływań na środowisko.

## 15.6 PODSUMOWANIE

Stosowanie podejścia do zarządzania środowiskowego w kategoriach cyklu życia w fazie badań i rozwoju, na wczesnym etapie kreowania rozwiązań innowacyjnych, jest bardzo przydatne w ocenie ich jakości środowiskowej. Na podstawie otrzymanych rezultatów oceny cyklu życia podejmowane są prace polegające na projektowaniu, doskonaleniu i dostosowywaniu rozwiązań dla uzyskania najlepszych rezultatów pod względem środowiskowym oraz ekonomicznym. Zasadność wykorzystania oceny cyklu życia została potwierdzona w praktyce przez zespół Instytutu Ekologii Terenów Przemysłowych, który przeprowadził ocenę wpływu na środowisko innowacyjnej technologii produkcji bardzo wytrzymałego kompozytu z osnową metalową Al-MMC o podwyższonych parametrach przewodzenia termicznego. Dotychczasowe doświadczenia oraz stanowisko Komisji Europejskiej wskazują, że interdyscyplinarne narzędzie oceny

cyklu życia zapewnia najlepszy sposób oceny potencjalnych oddziaływań produktów spośród aktualnie dostępnych podejść i analiz. Dzięki postępowi, jaki dokonał się w zakresie rozwoju metodyki, w tym prac standaryzacyjnych, zakres stosowania LCA jest obecnie bardzo szeroki. Podejście cyklu życia stosowane w kreowaniu ekoinnowacyjnych rozwiązań umożliwia redukcję wielu negatywnych oddziaływań środowiskowych, w tym między innymi emisji toksycznych substancji oraz ograniczenie zapotrzebowania na nieodnawialne zasoby.

## LITERATURA

1. Arvidsson R., D. Kushnir, B. A. Sandén, S. Molander (2013) How to make policy-relevant life cycle assessment of future products? Lessons learned from nanomaterials, The 6<sup>th</sup> International Conference on Life Cycle Management in Gothenburg.
2. Ciambrone D.F. (1997) Environmental Life Cycle Analysis, Lewis Publishers.
3. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, Integrated Product Policy. Building on Environmental Life-Cycle Thinking, Brussels, 18.6.2003, COM (2003) 302 final.
4. Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Innovation for a sustainable Future – The Eco-innovation Action Plan (Eco-AP) (2011) (Text with EEA relevance) {SEC(2011) 1598 final}{SEC(2011) 1599 final}{SEC(2011) 1600 final}.
5. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Sustainable Consumption and Production and Sustainable Industrial Policy Action Plan {SEC(2008) 2110} {SEC(2008) 2111} COM/2008/0397 final.
6. Commission Recommendation of 9 April 2013 on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations, Official Journal of the European Union, L124 Volume 56, ISSN 1997-0766, 4 May 2013.
7. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework, ISO 14040:2006).
8. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guideline (ISO 14044:2006)
9. Guinée J.B., R. Heijungs, G. Huppes, Institute of A. Zamagni, P. Masoni, R. Buonamici, T. Ekvall, T. Rydberg. (2011) Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future, Environ. Sci. Technol., 2011, 45 (1), American Chemical Society.
10. Guinée J.B. [red.] (2002) Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards, tomy 1-3, Kluwer, Dordrecht.
11. Hertwich E. (2005) Life Cycle Approaches to Sustainable Consumption: A Critical Review, Environmental Science & Technology, 39 (13), s. 4673-4684.
12. JRC EC, IES (2011) Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management. A technical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for waste experts and LCA practitioners, European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
13. Kemp R., Pearson P. (2007) Final report MEI project about measuring eco-innovation. Project No: 044513.
14. Kowalski Z., Kulczycka, J., Góralczyk, M. (2007) Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych, PWN, Warszawa.
15. Ludwig B. (1997) The Concept of technology assessment – an entire process to sustainable development, Sustainable development, Vol. 5, s. 111-117.
16. Mallik S., N. Ekere, Chris Best, R. Bhatti (2011) Investigation of thermal management materials for automotive electronic control units, Applied Thermal Engineering 31, s. 355-362.
17. Michaliszyn B., Krupanek J. (2015) Koncepcja i metody środowiskowej oceny technologii, Problemy Jakości, Zeszyt 11.
18. Michaliszyn B. (2013) Rola i znaczenie technologii ekoinnowacyjnych w Unii Europejskiej, Problemy jakości, Nr. 3, ISSN 0137-8651, s. 2-7.
19. Mortensen A., C. San Marchi, H.P. Degischer Glossary of terms specific to metal matrix composites MMC-Assess Thematic Network (2002)

20. Pesonen H-L (2001) Environmental Management of Value Chains. Promoting Life - Cycle Thinking in Industrial Networks, University of Jyväskylä, Finland.
21. UNEP (1992) Agenda 21. Earth Summit. The United Nations Programme of Action from Rio.
22. Vigon B.W., et.al. (1994) Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, USEPA Risk Reduction, Lewis Publishers, 1994.

*Data przesłania artykułu do Redakcji: 05.2017*

*Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 07.2018*

### ZASTOSOWANIE PODEJŚCIA CYKLU ŻYCIA W KREOWANIU ROZWIĄZAŃ EKOINNOWACYJNYCH

**Streszczenie:** W publikacji przedstawione zostało teoretyczne podejście do zarządzania środowiskowego oparte na ocenie aspektów środowiskowych innowacyjnych rozwiązań technologicznych, produktów i usług w pełnym cyklu ich życia. Stosowanie tego podejścia na wczesnym etapie kreowania rozwiązań innowacyjnych, jest bardzo przydatne w ocenie ich jakości środowiskowej. Zostało ono sprawdzone w praktyce na przykładzie oceny technologii produkcji bardzo wytrzymałego kompozytu posiadającego podwyższone własności przewodzenia termicznego. Wykorzystanie tego podejścia pozwoliło na określenie oddziaływań środowiskowych nowej technologii w odniesieniu do istniejących rozwiązań oraz zidentyfikowanie kluczowych czynników wpływających na jakość środowiskową zaprojektowanego materiału kompozytowego.

**Słowa kluczowe:** Analiza cyklu życia, ekoinnowacje, jakość środowiskowa, cykl życia produktu/usługi

### THE LIFE CYCLE APPROACH IN CREATION OF ECO-INNOVATIVE SOLUTIONS

**Abstract:** The publication presents the theoretical approach to environmental management based on the assessment of environmental aspects of innovative technological solutions, products and services in their full life cycle. Applying this approach at an early stage of technologies development is very useful in assessing their environmental quality. The Life Cycle Approach has been tested in practice on the example of assessment of the production of innovative, very durable composite material with increased thermal conduction properties. The use of this approach allowed to determine the environmental impacts of new material in relation to existing technological solutions and to identify key factors affecting environmental quality of composite material.

**Key words:** Life Cycle Analysis, eco-innovations, environmental performance, life-cycle of product/service

**dr Beata Michaliszyn**

Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych  
Zakład Badań i Rozwoju  
ul. Kossutha 6, 40-844 Katowice, Polska  
tel. +4832 254 6031 wew. 284

**dr Janusz Krupanek**

Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych  
Zakład Badań i Rozwoju  
ul. Kossutha 6, 40-844 Katowice, Polska  
tel. +4832 254 6031 wew. 284