Wacław Adamczyk*, Tomasz Nitkiewicz**, Marcin Rychwalski***
Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

Wykorzystanie metody LCA do ekologicznej oceny opon samochodowych

Wprowadzenie

Nowe przepisy w sprawie znakowania opon samochodowych, które wprowadzono w Polsce od 1 listopada 2012 r. na podstawie rozporządzenia Parlamentu Europejskiego, nakładają na producentów obowiązek przedstawienia na etykiecie informacji o efektywności paliwowej, drodze hamowania i emisji hałasu[1]. Są to niewątpliwie bardzo istotne informacje związane z bezpieczeństwem użytkowania, jednakże aspekt środowiskowy potraktowano tu nieco marginalnie. Reprezentuje go tylko element eksploatacji, jakim jest hałas emitowany w czasie pracy opony, i pośrednio także zużycie paliwa związane z oporami toczenia. Wpływ eksploatacji opon na środowisko jest niewątpliwie szerszy, jeżeli wspomnieć choćby tylko emisje związane ze zużyciem bieżnika. Rozpatrując relacje środowiskowe związane z ogumieniem pojazdów w konwencji cyklu życia, łatwo zauważyć, że etap eksploatacji, tak ważny w sensie użytkowym, stanowi tylko fragment całego cyklu.

Sfera przedprodukcyjna cyklu, w której projektowaniu rozstrzyga się zarówno kwestie użytkowe, jak i wpływ na środowisko w trakcie wytwarzania, czyli w sferze produkcyjnej, determinuje również sferę poprodukcyjną, obejmującą eksploatację i utylizację zużytych opon. Wspomniane regulacje dotyczące oznakowania opon stanowią pierwszy etap działań UE w tym zakresie, a ogólnie dostępne informacje o aspektach ekologicznych zostaną w przyszłości rozszerzone. Wskazują na to działania Komisji Europejskiej w zakresie zrównoważonej produkcji i zrównoważonej konsumpcji, propagujące konieczność myślenia w konwencji cyklu życia, a także stosowania metod LCA zarówno w celu wyboru scenariusza technologicznego, jak i weryfikacji wpływu na środowisko produktu w pełnym cyklu[2].

W artykule przedstawiono wykorzystanie ekologicznej oceny cyklu życia jako narzędzia interdyscyplinarnego, pozwalającego mierzyć i oceniać postęp w kierunku zrównoważonego rozwoju, a także wspierać procesy decyzyjne konsumentów i przedsiębiorstw w zakresie przesłanek środowiskowych. Ilustracją takiego wykorzystania jest ekologiczna ocena cyklu życia zestawu opon w dwóch wariantach konstrukcyjnych (z bieżnikiem krzemionkowym i węglowym) oraz przy założeniu różnych scenariuszy ich końcowego zagospodarowania (składowanie, spalenie i ponowne wykorzystanie). Ocenę przeprowadzono dla wybranego wariantu zagospodarowania opon metodą Ekowskaźnik'99. Wskaźniki wyliczono w programie SimaPro 7.3.2 na podstawie danych producenta opon oraz bazy danych przepływów materiałowych, energetycznych i emisji zanieczyszczeń Ecoinvent 2.0.

Ekologiczna ocena cyklu życia

Ocena cyklu życia wyrobu jest podstawową metodą oceny ekologicznej opartej na założeniach koncepcji zrównoważonego rozwoju[3]. Znajduje ona zastosowanie w wielu praktycznych przypadkach analiz ekologicznych. Podstawową cechą odróżniającą analizę cyklu życia od innych metod oceny ekologicznych aspektów oddziaływania produktów lub usług jest jej kompleksowość. Zakres oceny jest bardzo szeroki, a jej metody tak opracowane, aby uwzględnić wszelkie możliwe do kwantyfikacji aspekty środowiskowe związane z danym wyrobem. Podstawowe założenie kompleksowości zagadnienia jest realizowane przez objęcie badaniem wszelkich faz i procesów, w których biorą udział elementy wyrobu. Cykl życia został

* Prof. dr hab. Wacław Adamczyk, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Wydział Towaroznawstwa, Katedra Technologii i Ekologii Wyrobów.
** Dr inż. Tomasz Nitkiewicz, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Wydział Towaroznawstwa, Katedra Technologii i Ekologii Wyrobów.
*** Mgr Marcin Rychwalski, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Wydział Towaroznawstwa, Katedra Technologii i Ekologii Wyrobów.

[1] Regulation (EC) No. 1222/2009 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the labeling of tyres with respect to fuel efficiency and other essential parameters (Text with EEA relevance).

[2] W. Adamczyk, *Współczesne problemy zrównoważonej produkcji i zrównoważonej konsumpcji*, „Zarządzanie i Finanse" 2012, vol. 10, nr 3, cz. 2, s. 177–191.

podzielony na trzy fazy — przedprodukcyjną, produkcyjną oraz poprodukcyjną[4]. W pierwszej z nich należy mieć na uwadze oddziaływania związane z projektowaniem oraz pozyskaniem surowców stanowiących materiały składowe produktu. Przykładowo, wszelkie przepływy energii występujące w momencie pozyskiwania surowców niezbędnych do stworzenia finalnego wyrobu lub jego podzespołów muszą zostać uwzględnione w analizie cyklu życia, aby można było ocenić wyrób zgodnie z jego rzeczywistym oddziaływaniem. Podobnie na etapie utylizacji zużytego wyrobu, stanowiącego odpad, należy uwzględnić w analizie energię potrzebną do procesów utylizacyjnych. W sferze produkcyjnej dokonywana jest realizacja założeń projektowych i wyłonionych rozwiązań o najmniejszym oddziaływaniu środowiskowym wraz ze stałym monitoringiem parametrów ekologicznych i ewentualnymi poprawkami. Należy również wziąć pod uwagę sferę poprodukcyjną, w której badany jest dalszy wpływ wyrobu na otoczenie i człowieka, wynikający z jego eksploatacji, a później z likwidacji poużytkowej. W tej sferze wyrób oddziałuje bezpośrednio na człowieka jako konsumenta oraz na jego bliższe i dalsze otoczenie.

Metoda LCA (*Life Cycle Assessment* — ocena cyklu życia) obejmuje wszystkie te aspekty. Jej stosowanie ma na celu realizację zasad zrównoważonego rozwoju oraz programów wykonawczych do polityki ekologicznej państwa[5]. Regulacje w tym zakresie są również zawarte w serii norm ISO 14040. Po przeprowadzeniu badania oddziaływań środowiskowych dokonuje się optymalizacji środowiskowej wyrobu, która ma na celu wyłonienie wersji o najmniejszym wpływie na środowisko. Przeprowadzenie oceny wpływu środowiskowego wyrobu może być także metodą szczegółową, opracowaną i zastosowaną w zależności od specyfiki badanego przypadku.

Metody prowadzenia analizy cyklu życia

Przeprowadzając analizę ekologiczną za pomocą systemu wspomagania komputerowego, dokonuje się wyboru metody oceny oddziaływania ekologicznego. W dalszej części pracy scharakteryzowano założenia najczęściej stosowanych metod[6].

Metoda punktów ekologicznych (UBP)[7] to metoda opracowana w Szwajcarii, dostosowana głównie do warunków tam panujących, przez co nie zawsze może być stosowana w innych rejonach geograficznych. Obejmuje obciążenia powietrza, wody, energii oraz zapotrzebowanie na powierzchnię do składowania odpadów w stosunku do ich obecnego wykorzystania w danym kraju. Metoda wymaga określenia wpływu krytycznego poszczególnych czynników, a więc wyznaczenia maksymalnego dopuszczalnego wpływu na środowisko, niepowodującego nieodwracalnych, negatywnych skutków w ocenianych kategoriach oddziaływań. Konieczne jest także zbadanie i określenie bieżącego wykorzystania obciążeń środowiskowych.

Alternatywnie można zastosować **metodę objętości krytycznej**[8], która dzieli zasoby i środowisko na trzy kategorie: powietrze, glebę i wodę, traktując je jak surowiec naturalny, który może być obciążony pewną ilością substancji szkodliwej, aż do wartości granicznej. Wskaźnik jest odnoszony do objętości kategorii, a więc powietrza, gleby i wody. Wartość krytyczną ustala się indywidualnie w poszczególnych krajach ustawowo lub naukowo. W metodzie tej pomija się cały szereg oddziaływań, między innymi: hałas, efekt cieplarniany czy promieniowanie. Inną wadą metody jest sposób ustalenia wartości krytycznych, który wymaga skomplikowanych wyliczeń, a ponadto może być uzależniony politycznie.

Metoda Environmental Priority Strategies (EPS)[9] została opracowana w Szwecji na potrzeby projektowania i rozwoju szwedzkiego przemysłu. Oddziaływania środowiskowe analizuje w kategoriach, takich jak zdrowie ludzkie, zróżnicowanie biologiczne, produkcja biologiczna i przemysłowa, surowce abiotyczne oraz wartości estetyczne. Metoda wymaga przeliczenia wszystkich oddziaływań na wartości pieniężne, a więc szkody poszczególnych kategorii są przedstawiane jako koszty środowiskowe na podstawie wyceny finansowej. Wynik otrzymany przy pełnej agregacji jest przedstawiany za pomocą jednostek obciążenia ELU (*Environmental Load Unit*), odpowiadających jednostkom pieniężnym euro. Metoda nie znajduje zastosowania w optymalizacji ekologicznej cyklu życia ze względu na koncentrację na jednostkach pieniężnych oraz dużą subiektywność wyników.

Metoda MIPS (*Material Input pro Serviceinherit*) traktuje środowisko jako działający i optymalny system, zachowujący przy tym naturalnie swoją równowagę[10]. Podstawową jednostką pomiaru w tej meto-

[3] J. Adamczyk, T. Nitkiewicz, *Programowanie zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw*, PWE, Warszawa 2007.

[4] W. Adamczyk, *Ekologia wyrobów*, PWE, Warszawa 2004.

[5] Ministerstwo Środowiska, *Polityka ekologiczna państwa na lata 2003–2006 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2007–2010*, Warszawa 2002.

[6] G. Norris, *SimaPro 6. Database Manual*, The Franklin US LCI 98 Library, Pre Consultants 2004.

[7] A. Merl, *Ökobilanzen (Life cycle assessment) — Eine kompriemierte Methodenbeschreibung an die Norm EN ISO 14.040 ff, im Rahmen des Wahlseminars*, „Ökologische Bewertung von Tragwerken", TU Wien 2001.

[8] K. Gerner, *Bestimmung potenzieller Umweltbelastungen von Produkten durch die lineare Ekstrapolation der Ergebnisse ähnlicher Produkte*, Technische Universität Berlin, Berlin 2005.

[9] M. Kreeb, *Fallstudien zur Computerunterstützung in der Betrieblichen Ökobilanzierung*, „Studien zur Wirtschaftsinformatik" 1994, No. 3.

[10] M. Ritthoff, H. Rohn, C. Liedtke, *MIPS berechnen. Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen*, Wuppertal Spezial 27, Wuppertal Institut, Wuppertal 2006.

dzie jest ilość zużytych surowców i materiałów, które zostają wprowadzone do określonego systemu, przez co zaburzają jego równowagę. Ocena polega na zliczeniu tzw. wejść materiałowych określonych w kilogramach. Obrazuje się w ten sposób wykorzystanie surowców abiotycznych, surowców biotycznych, wykorzystanie powierzchni ziemi w rolnictwie i leśnictwie, wody oraz powietrza, analizując przepływy ilościowe wewnątrz określonego systemu. Metoda ta jest uznawana za wyrazistą i dobrze się nadaje do badania i optymalizowania zużycia materiałowego wewnątrz przedsiębiorstwa. Do określania wpływów środowiskowych jest natomiast zbyt ograniczona, gdyż obejmuje jedynie analizę surowców i ich wykorzystania.

Metoda Ekowskaźnik'99 jest zorientowana na występowanie w środowisku różnego rodzaju szkód[11]. Szkody te są pogrupowane w trzech kategoriach: zdrowie ludzkie, szkody w ekosystemie oraz zużycie surowców. Szkodliwość dla zdrowia jest wyrażona w postaci wskaźnika DALY (*Disability Adjusted Life Years*)[12], który wskazuje strumień substancji szkodliwych w tonach w ciągu roku. Skala szacowania niepełnosprawności mieści się w zakresie 0–1 i może być wyrażana w procentach. Zero oznacza całkowitą sprawność organizmu, a jeden — zgon[13]. Analiza szkodliwości obejmuje między innymi połączenie wpływu na zdrowie z końcową wartością wskaźnika DALY, uwzględniając liczbę lat przeżytą w upośledzeniu YLD (*Years Lived Disabled*) oraz liczbę lat utraconych YLL (*Years of Life Lost*).

Modele w tej kategorii oddziaływań opracowano, uwzględniając efekty kancerogenne, wpływ na procesy oddychania, zmiany klimatu, niszczenie warstwy ozonowej i promieniowanie elektromagnetyczne. Straty mające wyraz w utracie zdrowia odnoszą się do krótko- lub długookresowych, częściowych lub całkowitych dysfunkcji organizmu. Za podstawowe szkody związane ze zdrowiem uznaje się:

- choroby zakaźne, wieńcowe, trudności z oddychaniem;
- choroby nowotworowe spowodowane promieniowaniem elektromagnetycznym i dziurą ozonową;
- nowotwory układu oddechowego oraz nowotwory wywołane obecnością substancji kancerogennych w powietrzu, wodzie i żywności.

Szkodliwość dla jakości ekosystemu określa procentowy udział gatunków, które wyginęły wskutek szkodliwego oddziaływania na środowisko na pewnym obszarze. Na tę kategorię składają się:

- ekotoksyczność, wyrażona jako procent wszystkich gatunków w środowisku żyjących w warunkach toksycznych oddziaływań — toksycznego stresu; stres toksyczny jest transformowany na obserwowalne szkody;
- zakwaszenie i eutrofizacja, łącznie modelowane jako szkody wśród roślin naczyniowych;
- eksploatacja i przekształcanie powierzchni ziemi, oszacowane na podstawie występowania roślin naczyniowych jako funkcji zużycia ziemi i rozmiaru powierzchni; szkody są szacowane w odniesieniu lokalnym i regionalnym.

Ekotoksyczność określa tzw. potencjalnie narażona frakcja, PAF (*Potentially Affected Fraction*), wyrażona w procentach. W przypadku zakwaszenia i eutrofizacji stosuje się jako wskaźnik tzw. potencjalnie zanikłą frakcję, PDF (*Potentialy Disappeared Fraction*), co odnosi się do zaniku organizmów, które uznane za strategiczne dla ekosystemu powinny w nim występować w określonej ilości, gdyby nie zmiany kwasowości lub poziomu składników odżywczych. W przypadku zużycia ziemi również wykorzystuje się PDF, jednak w odniesieniu do wszystkich gatunków. Model szkód jest w tym przypadku odnoszony do warunków lokalnych i regionalnych przetworzenia i użytkowania ziemi. Wpływ lokalny odnosi się do zmian w liczbie gatunków występujących na zajmowanych lub przetwarzanych obszarach ziemi, a regionalny do zmian naturalnych obszarów poza tymi obszarami. Jednostką wyrażającą szkody dla ekosystemu jest PDF odniesiona do powierzchni ziemi w ciągu roku (PDF×m^2×rok).

Wydobycie surowców odniesiono tylko do surowców mineralnych i paliw. Uwzględniając potrzeby surowcowe, w opracowaniu ekowskaźników bierze się pod uwagę jakość w sensie koncentracji i dostępności zasobu. Obecne wydobycie powoduje wzrost zużycia energii w przyszłych procesach wydobycia, ponieważ w pierwszej kolejności eksploatowane są złoża o najwyższej koncentracji i jakości surowca, najłatwiejszych warunkach wydobycia, a tym samym po niższych kosztach niż w przyszłości. Ocena ważkości zużycia surowców jest przeprowadzana z uwzględnieniem energii potrzebnej do wydobycia minerałów z uwzględnieniem ich koncentracji. Szkodę stanowi oczekiwany wzrost zużycia energii odniesiony do 1 kg surowca. Szkody w ekosystemie to procentowy udział rodzajów organizmów, które mogą zniknąć z określonego terenu ze względu na oddziaływanie (PDF). Szkody dotyczące surowców są mierzone jako nakłady konieczne do poniesienia w celu uzyskania tych surowców w przyszłości. Metodę ekowskaźnika określa się jako służącą bardziej porównywaniu produktów niż przeprowadzeniu pełnego ekobilansu ze względu na jej specyfikę oraz trudność interpretacji wyników.

Metoda CML porządkuje łączne oddziaływanie według szeregu kategorii na poszczególne wpływy i przepływy[14]. Ważenie konkretnych oddziaływań

[11] H. Kunst, *Ökologische Optimierung von Substitutionsentscheidungen*, Technische Universität, Berlin 2003.

[12] Wskaźnik stosowany również przez WHO.

[13] M. Goedkoop, S. Effting, M. Collignon, *The Ecoindicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*, w: *Manual for Designers*, 2nd ed., Pré Consultants B. V., 2000.

[14] K. Lichtenvork, *Systemgrenzenrelevante Äderungen von Flussmengen in der Ökobilanzierung*, Berlin 2004.

może jednak być etapem subiektywnym. Dobrze oddaje informacje o większości wpływów środowiskowych i pozostawia interpretację wyników osobie dokonującej analizy. Metoda jest przeznaczona do dokonywania bardziej szczegółowych analiz, np. prowadzonych w celu optymalizacji.

Opis zastosowanej metody oceny cyklu życia opon

Oceny wpływu na środowisko cyklu życia zestawu opon dokonano na podstawie bilansu masowego zużytych materiałów. Zakres zużycia surowców i materiałów w cyklu życia opon przedstawiono w tabeli 1. Podane zużycie dotyczy wartości uśrednionych i obejmuje zestaw czterech opon w dwóch wariantach: zimowym i letnim.

Tabela 1
Bilans masowy zużytych materiałów do produkcji opon

Surowce i materiały	Zestaw opon zimowych z bieżnikiem węglowym (kg)	Zestaw opon letnich z bieżnikiem krzemionkowym (kg)
Guma syntetyczna	8,5614	8,5078
Guma naturalna	5,8306	6,4099
Sadza	9,2786	6,6880
ZnO	0,1965	3,3968
Węglowodory aromatyczne	0,4655	0,4506
Kwas stearynowy	0,5344	0,5562
Przyspieszacze	2,6929	2,1542
Antyoksydanty	0,2724	0,3379
Guma z recyklingu	0,3034	0,3555
Stalowe zbrojenia	0,5206	0,5174
Nylon	0,1414	0,1760
Razem	4,0342	4,0128

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych producenta.

Rysunek 1 przedstawia uproszczony schemat cyklu życia opony. Zaznaczono wszystkie możliwe warianty zagospodarowania odpadów. W przeprowadzonej jako przykład analizie cyklu życia wybrane warianty zaznaczono linią ciągłą, natomiast pozostałe możliwe do zrealizowania zaznaczono linią przerywaną. W kolejnym kroku przeliczono przepływy materiałowe na wskaźniki wynikowe LCA. Wszystkie wskaźniki wynikowe LCA wyliczono w programie SimaPro 7.3.2 z wykorzystaniem metody Ekowskaźnik'99 oraz bazy danych Ecoinvent 2.0. Metoda Ekowskaźnik'99 pozwala na wyznaczenie pojedynczego ekowskaźnika na podstawie 3 wskaźników kategorii szkody: zdrowia ludzkiego, jakości ekosystemu oraz zużycia zasobów.

W metodzie Ekowskaźnik'99 wskaźniki kategorii szkody są wyznaczane na podstawie jedenastu kategorii wpływu. Należą do nich:
- kancerogeny,
- choroby układu oddechowego powodowane przez czynniki organiczne (oznaczone na wykresach jako „czynniki organiczne"),
- choroby układu oddechowego powodowane przez czynniki nieorganiczne („czynniki nieorganiczne"),
- zmiana klimatu,
- problemy zdrowotne powodowane przez promieniowanie jonizujące („promieniowanie"),
- niszczenie powłoki ozonowej („powłoka ozonowa"),
- ekotoksyczność,
- zakwaszenie,
- wykorzystanie powierzchni ziemi,
- zużycie minerałów,
- zużycie paliw kopalnych.

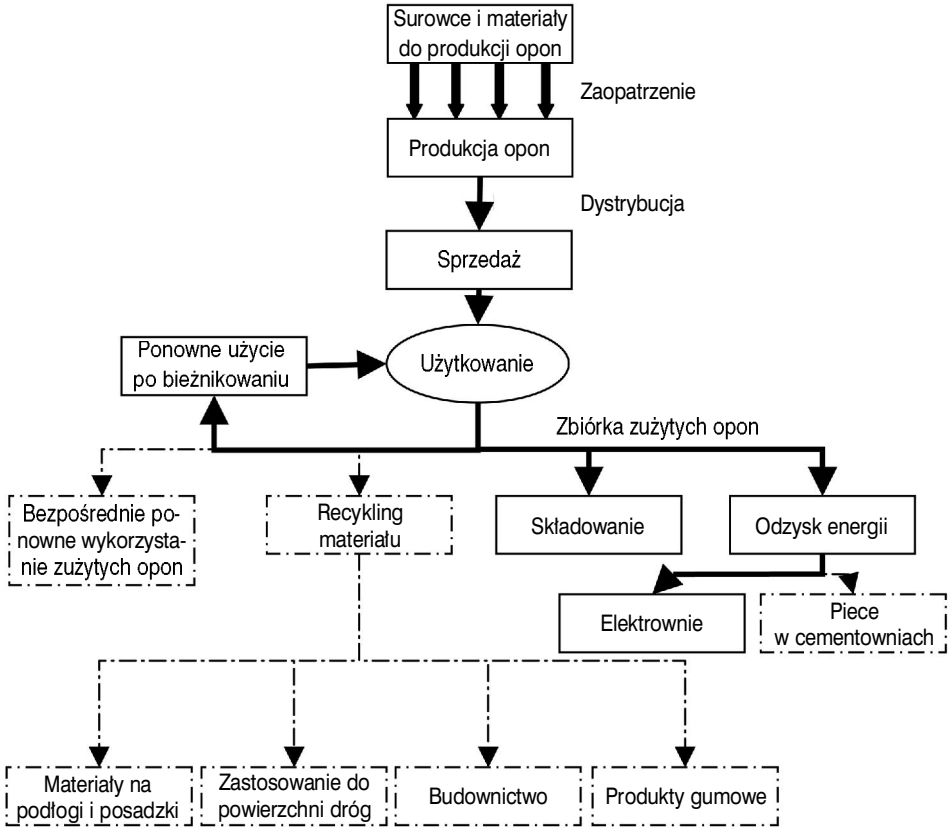
Z kolei wartość wskaźników kategorii wpływu jest wyliczana na podstawie przepływów materiałowych i energetycznych oraz emisji zanieczyszczeń, a także odpadów w cyklu życia badanego produktu. Obliczanie oddziaływania środowiskowego na podstawie przepływów w cyklu życia odbywa się z zastosowaniem ściśle określonych przeliczników, zgodnie z propozycjami autorów tej metody[15]. Są one zawarte w oprogramowaniu wykorzystanym do ich wyliczenia. Metodologia alokacji wpływu nie była modyfikowana i została wykorzystana zgodnie z propozycją twórców wskaźnika oraz procedurą obsługiwaną przez program SimaPro 7.3.2.

W dalszych rozważaniach wykorzystano wskaźniki wynikowe LCA, obliczone według metody Ekowskaźnik'99, każdorazowo wskazując kategorie wskaźnika, które wykorzystano. Wyznaczenie wartości wskaźników wynikowych można przeprowadzić na etapie charakteryzacji (wartości wskaźników są wyrażone w jednostkach rzeczywistych), normalizacji (wartości wskaźników przelicza się na uśrednioną wielkość wpływu przypadającą na mieszkańca) oraz ważenia (poszczególnym kategoriom przypisuje się określone wagi). W treści artykułu wskaźniki wynikowe przedstawiono na etapie normalizacji i ważenia. Wykorzystano istniejące kryteria normalizacji i ważenia zintegrowane w programie SimaPro 7.3.2 z metodą Ekowskaźnik'99. Do obliczenia wskaźników końcowych LCA wykorzystano wariant hierarchiczny oceny wpływu w metodzie Ekowskaźnik'99. Wariant ten został wybrany ze względu na najbardziej uniwersalny charakter wskaźnika oraz uwzględnianie różnych punktów widzenia i koncepcji pomiaru oddziaływania w przyszłości.

Typ przeprowadzonej analizy odpowiada zakresowi badania *LCA screening*, określanemu w języku polskim jako ocena koncepcyjna cyklu życia, które

[15] M. Goedkoop, R. Spriensma, *The Eco-indicator 99. A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment.* Methodology Report, Ministerie van Volkshuiisvesting, D-G Milieubeheer, nr 1999/36A, Amersfoort 2001.

Rysunek 1
Uproszczony schemat cyklu życia opony



Źródło: opracowanie własne na podstawie: R. Spriensma, C. Alvarado, M. Goedkoop, *Life Cycle Assessment of an Average European Car Tyre*, PRé Consultants B.V., Amersfoort 2001, s. 10.

wykorzystuje tylko standardowe dane i uproszczoną metodologię oceny oddziaływania[16]. Wyboru wariantu dokonano z uwzględnieniem możliwości zaspokojenia potrzeb informacyjnych oraz planowanego zastosowania wyników oceny. Za pomocą badania *LCA screening* można osiągnąć cel badawczy, którym jest poglądowa ocena struktury i intensywności presji środowiskowej, wywieranej w analizowanym wariancie cyklu życia opon.

Zakres i jednostka funkcjonalna oceny

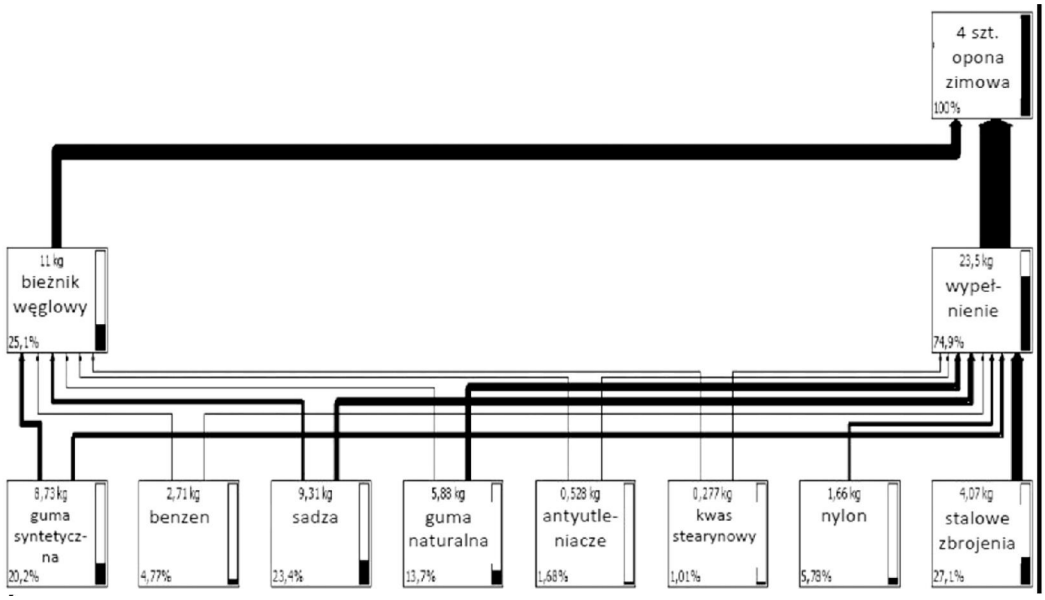
Jednostką funkcjonalną w przeprowadzonym badaniu był zestaw 4 opon do samochodu osobowego o parametrach 195/60 R15. Założono, że zestaw ten nadaje się do bezpiecznego użytkowania przez 35 tys. km, a także, że opony tracą 25% swojej pierwotnej masy w wyniku tarcia w trakcie użytkowania. Badaniu poddano dwa warianty zestawu opon: (1) letni — opony z bieżnikiem krzemionkowym oraz (2) zimowy — opony z bieżnikiem węglowym. W fazie użytkowania uwzględniono jedynie zużycie bieżnika opony w czasie jazdy samochodem osobowym. W badaniu uwzględniono 3 warianty utylizacji: spalenie opon w kotle do produkcji energii elektrycznej i ciepła, ponowne wykorzystanie opon po bieżnikowaniu oraz ich składowanie. Dane dla fazy produkcji opon pochodzą bezpośrednio od producenta, natomiast dane dla faz użytkowania i utylizacji pochodzą z bazy Ecoinvent 2.0.

Ocena wpływu cyklu życia

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono udział poszczególnych grup surowcowych w wartości ekowskaźnika, wyliczony na etapie ważenia dla opon letnich i zimowych. Przedstawiono tylko te grupy surowców, dla których udział w wartości ekowskaźnika przekraczał 1%. System wyrobu podzielono na dwa elementy: bieżnik i wypełnienie opony. Wypełnienie opony jest identyczne dla obu wariantów. Różnice w składzie surowcowym pojawiają się natomiast w przypadku bieżników.

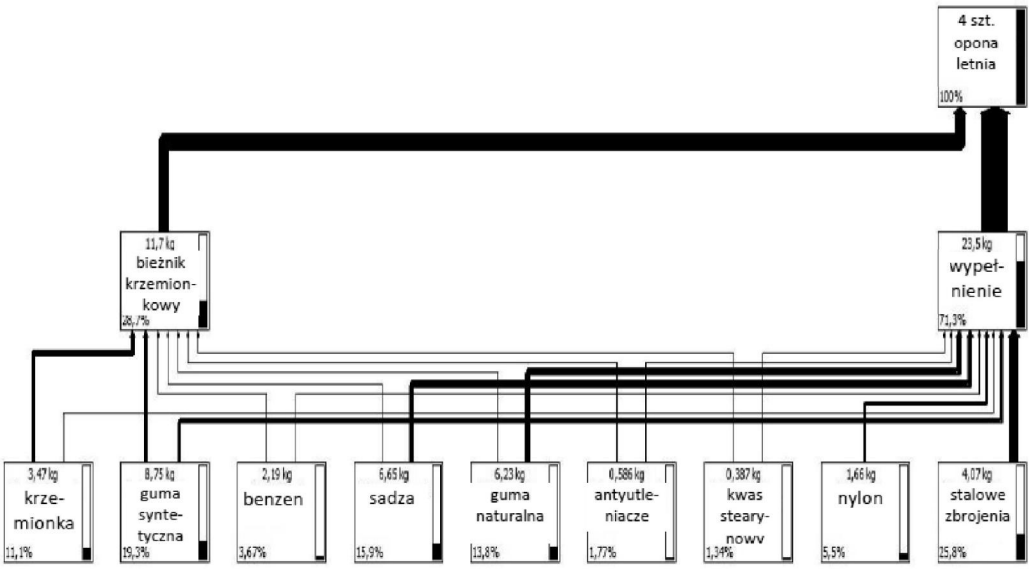
[16] Z. Kłos, P. Kurczewski, J. Kasprzak, *Środowiskowe charakteryzowanie maszyn i urządzeń — podstawy ekologiczne, metody i przykłady*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007.

Rysunek 2
Udział grup surowców w wartości ekowskaźnika (etap ważenia) dla zestawu opon zimowych



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 3
Udział grup surowców w wartości ekowskaźnika (etap ważenia) dla zestawu opon letnich

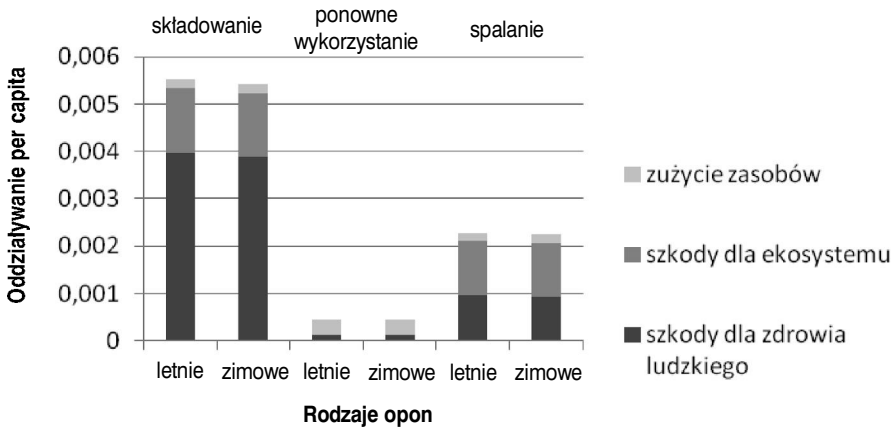


Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie analizy rysunków 2 i 3 można zaobserwować, że wpływ środowiskowy jest większy w przypadku opon letnich, przede wszystkim w związku z wykorzystaniem krzemionki do produkcji bieżnika. Udział krzemionki w wartości ekowskaźnika wynosi ponad 11% dla opon letnich, nie występuje natomiast w przypadku opon zimowych. Dla opon zimowych zwiększa się natomiast udział sadzy w kształtowaniu wartości ekowskaźnika, przekraczając ponad 23%, podczas gdy dla opon letnich jest to prawie 16%. Poza tym udział pozostałych substancji jest porównywalny.

Wyrażone w postaci ekowskaźnika oddziaływanie środowiskowe produkcji zestawu czterech opon w wersji zimowej z bieżnikiem węglowym wynosi 22

Rysunek 4
Wskaźniki szkody (etap normalizacji) dla scenariuszy końcowego zagospodarowania zestawu opon

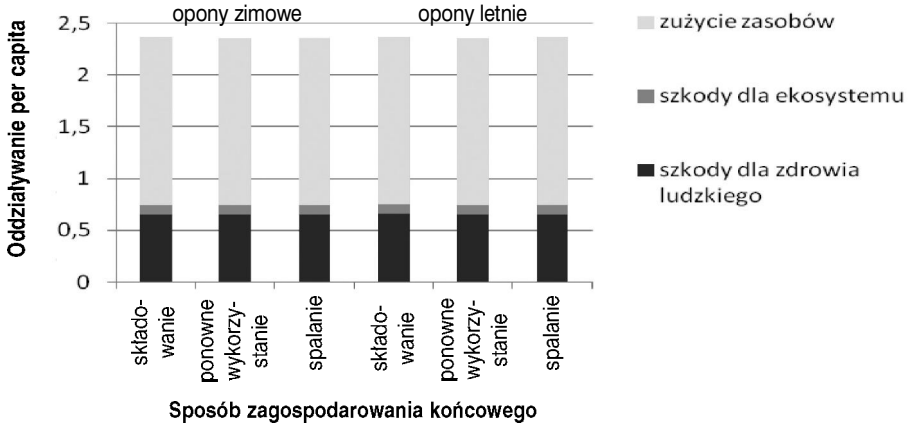


Źródło: opracowanie własne.

pkt, podczas gdy dla wersji letniej z bieżnikiem krzemionkowym 23,1 pkt. W odniesieniu do zestawu opon różnica ta jest mało znacząca, jednak ze względu na skalę produkcji opon przekłada się to na istotny efekt środowiskowy. Na kolejnym wykresie (rys. 4) przedstawiono ocenę oddziaływania środowiskowego dla trzech wariantów zagospodarowania zużytych opon. Ocena uwzględnia tylko fazę końcowego zagospodarowania, nie obejmuje natomiast fazy produkcyjnej ani fazy użytkowania opon. Każdy z ocenianych wariantów zakłada całkowite zagospodarowanie pozostałości opon w ramach danej formy zagospodarowania. Warianty uwzględniają również zużycie opon w trakcie użytkowania i związany z tym ubytek masy o 25%. Widać wyraźnie, że składowanie zużytych opon jest najgorszym scenariuszem pod względem środowiskowym. Szczególnie istotne są szkody dla zdrowia człowieka i w mniejszym stopniu dla ekosystemu. Spalenie opon w celu odzyskania energii daje podobne efekty w kwestii zużycia zasobów i szkód dla ekosystemu, ale powoduje znacznie mniejsze zagrożenia dla człowieka, jeśli jest przeprowadzane w odpowiednich warunkach i monitorowanych blokach energetycznych. Najbardziej przyjazne środowisku jest ponowne wykorzystanie opon po ich bieżnikowaniu. Oddziaływanie jest w tym przypadku minimalne. Należy zaznaczyć, że wariant ten wyprzedza dwa pozostałe pod względem zużycia zasobów, co wiąże się z koniecznością odtworzenia zużytego bieżnika.

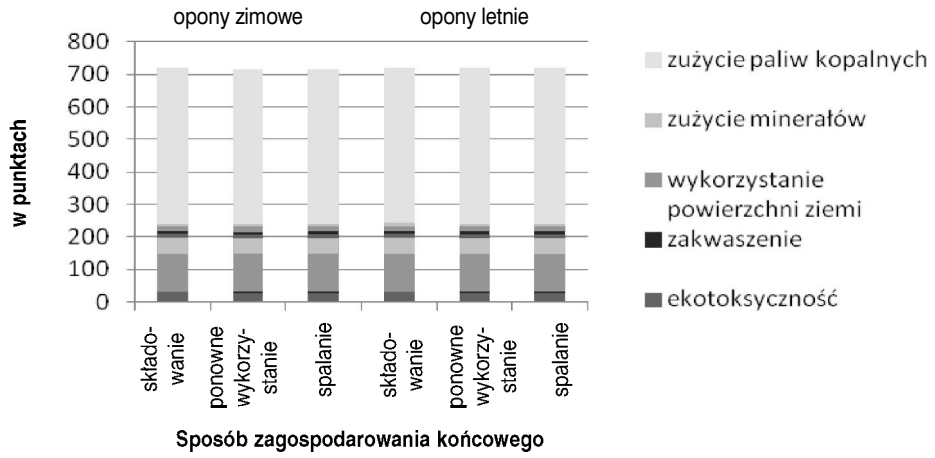
Porównanie oddziaływania pełnego cyklu życia zestawów opon w dwóch wariantach (letnie i zimowe) oraz dla różnych scenariuszy zagospodarowania odpadów (składowanie, ponowne wykorzystanie oraz spalenie) zaprezentowano na kolejnych wykresach (rys. 5 i 6). Naj-

Rysunek 5
Wskaźniki szkody (etap normalizacji) dla pełnego cyklu życia zestawu opon



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 6
Wskaźniki wpływu (etap ważenia) dla pełnego cyklu życia zestawu opon



Źródło: opracowanie własne.

ważniejszą informacją jest fakt, że przyjęta do analizy faza użytkowania, obejmująca przejechanie samochodem osobowym z silnikiem spalinowym 35 tys. km, ma zdecydowanie największy udział w powodowanych presjach środowiskowych. Efekt ten prowadzi do zdecydowanego zmniejszenia zróżnicowania wskaźników wynikowych ze względu na rodzaj opon czy wariant ich końcowego zagospodarowania. Różnice pomiędzy poszczególnymi wariantami są minimalne i uniemożliwiają wyróżnienie (w sensie pozytywnym czy negatywnym) któregokolwiek z nich.

Na rysunku 5 przedstawiono oddziaływanie cyklu życia wyrażone we wskaźnikach szkody. Zdecydowanie największy udział ma tutaj zużycie zasobów (w przeciwieństwie do oceny oddziaływania scenariuszy zagospodarowania końcowego), co wiąże się przede wszystkim ze zużyciem paliwa w fazie użytkowania pojazdu wyposażonego w opony. Różnice wartości wskaźników w poszczególnych kategoriach dla różnych wariantów poddanych ocenie są minimalne.

Biorąc pod uwagę wyniki oceny wyrażone we wskaźnikach wpływu (rys. 6) należy zaznaczyć, że najważniejszą kategorią wpływu jest zużycie paliw kopalnych (znowu w związku z użytkowaniem pojazdów). Drugą pod względem istotności kategorią wpływu jest powodowanie chorób układu oddechowego w związku z emisją związków nieorganicznych, a trzecią — przyczynianie się do zmian klimatu. Nie występują tutaj większe różnice w kategoriach wpływu pomiędzy poszczególnymi wariantami poddanymi ocenie.

Podsumowanie

Wnioski z przeprowadzonej oceny cyklu życia można przedstawić syntetycznie w formie następujących komentarzy:

- największy wpływ środowiskowy pełnego cyklu życia występuje w fazie użytkowania opon, bez względu na rodzaj opony oraz sposób jej końcowego zagospodarowania;
- produkcja opon z bieżnikiem krzemionkowym wywiera większe presje środowiskowe niż wytwarzanie opon z bieżnikiem węglowym, co w przypadku oceny całkowitej podaży tych opon może kumulować się w generowaniu istotnych zagrożeń środowiskowych;
- spośród scenariuszy zagospodarowania końcowego opon najbardziej przyjazne środowisku jest ich ponowne wykorzystanie po bieżnikowaniu, gdyż odbywa się przy minimalnych presjach środowiskowych w samym procesie i pozwala na uniknięcie tych presji poprzez rezygnację z produkcji nowych opon, a tym samym z wykorzystania surowców;
- spośród surowców wykorzystywanych do produkcji opon największy udział w wywieraniu presji na środowisko mają: stal wykorzystana do zbrojenia wypełnienia opony, guma syntetyczna i sadza, niezależnie od wariantu opony;
- dla opon z bieżnikiem krzemionkowym dodatkową presję środowiskową powoduje wykorzystanie krzemionki, natomiast dla opon z bieżnikiem węglowym — udział sadzy.

Rekomendacje w kwestii zmian wynikających z analizy cyklu życia opon dotyczą ograniczenia presji w fazie użytkowania, m.in. poprzez produkcję pojazdów o mniejszym zużyciu paliwa, zastosowania napędów alternatywnych (hybrydowych czy elektrycznych) i użytkowania pojazdów w możliwie oszczędnym trybie zużycia paliwa. Istotne są zatem wszystkie działania, które zmierzają do wydłużenia okresu użyteczności opon przy zachowaniu warunków bezpieczeństwa. Rekomendacje dla fazy produkcji odnoszą

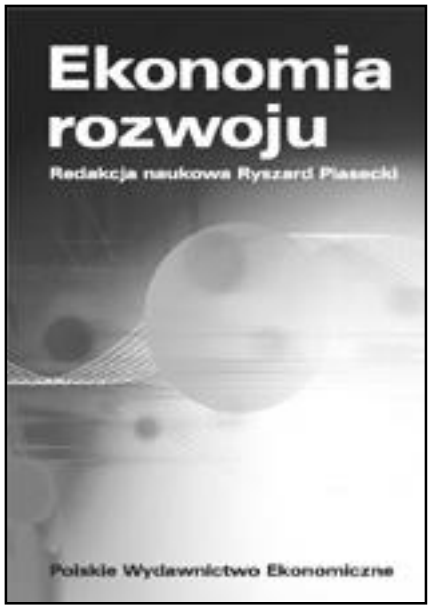
się przede wszystkim do wykorzystania technologii minimalizujących zużycie surowców, tj. stali i krzemionki, przy zachowaniu parametrów użytkowych opon. Rekomendacje dla fazy zagospodarowania dotyczą natomiast zwiększenia udziału ponownego wykorzystania opon w końcowym ich zagospodarowaniu. Obecnie kierunek ten jest coraz mniej popularny w odniesieniu do opon samochodów osobowych, natomiast jest realizowany dla ogumienia samochodów dostawczych i ciężarowych.

Summary

LCA use to ecological evaluation of car tires

The objective of the paper is to run life cycle assessment of car tires in order to illustrate the structure of its environmental impacts, the share of certain life cycle phases in it and comparison of different scenarios for production and waste to support ecological evaluation of life cycle. Paper presents the clue of life cycle assessment is presented and the methods used to run it, and characterization of car tire life cycle and its phases, assessment methodology, its range and scope, and life cycle impact assessment. The last part of the paper includes interpretation of LCA results and key conclusions. The data used for characterization of production phase comes directly from car tire producer while the data to cover use and waste scenario phases comes from Ecoinvent 2.0 database. LCA was made in SimaPro 7.3.2 software with the use of Eco-indicator'99 methodology. The assessment was made for different product variants and different waste scenario.

Warto przeczytać!



Ryszard Bartkowiak

EKONOMIA ROZWOJU

Celem działalności gospodarczej jest wytwarzanie i konsumpcja dóbr. Z upływem czasu realizacja tego celu doprowadziła do wyodrębnienia się krajów zamożnych i ubogich. Różnice w poziomie zamożności stawały się tak duże, że po II wojnie światowej pojawiła się konieczność przeciwdziałania ubóstwu w skali światowej. W ten sposób powstała ekonomia rozwoju. Badania przyczyn zamożności i ubóstwa wymaga ujęcia ogólnoświatowego (globalnego). Występują tutaj zagadnienia jednej ścieżki rozwoju oraz dualizmu gospodarczego świata, z którymi wiąże się tematyka jedności i dualizmu ludnościowego. Doprowadziły one do pojawienia się odmiennych koncepcji rozwojowych, w których różne znaczenia przypisuje się działalności państwa, rynkowi oraz integracji gospodarczej. W książce omówiono także alternatywne podejście do działalności gospodarczej, w których mniejsze znaczenie ma pomnażanie zamożności, a większe — zadowolenie z życia. Są nimi ekonomia behawioralna i ekonomia szczęścia.

Podręcznik jest przeznaczony dla studentów kierunków ekonomicznych.

Księgarnia internetowa: **www.pwe.com.pl**