MECHANIKA
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
5-M/2012
ZESZYT 10
ROK 109
ISSUE 10
YEAR 109

MAŁGORZATA MROZIK, JACEK ELIASZ*

WYBRANE ASPEKTY ENERGETYCZNO--EKOLOGICZNEGO MODELU CYKLU ŻYCIA POJAZDU SAMOCHODOWEGO

SELECTED ASPECTS OF ENERGETIC-ECOLOGICAL MODEL OF VEHICLE LIFE CYCLE

Streszczenie

Artykuł odnosi się do aktualnej problematyki energetyczno-ekologicznej oceny cyklu życia pojazdów samochodowych. Charakter procesów wytwórczych oraz sposób eksploatacji pojazdów samochodowych powodują, że niezależnie od rodzaju systemu napędowego (klasyczny, elektryczny lub hybrydowy) oraz sprawności przetwarzania energii chemicznej paliwa lub innego nośnika energii w jednostce napędowej, niezwykle ważne okazują się nakłady energetyczne i obciążenia środowiskowe występujące we wszystkich fazach cyklu życia danego rodzaju pojazdu samochodowego. Na podstawie wyników uzyskanych w ramach realizowanych prac naukowo-badawczych w artykule przedstawiono wybrane aspekty energetyczno-ekologicznego modelowania cyklu życia pojazdów samochodowych na przykładzie fazy budowy dla wybranego przykładu samochodu osobowego.

Słowa kluczowe: ocena cyklu życia, samochód osobowy, zarządzanie energią i środowiskiem

Abstract

The paper below is related to the current problem of energy and ecological assessment of automotive vehicles, considered in terms of their whole life cycle. The character of the manufacturing processes and the way of using vehicles cause that apart from the type of a driving system (classic, electric or hybrid) and the efficiency of processing the chemical energy of fuel or another energy carrier in a driving unit, a very important thing are energy and ecological inputs that appear in all phases of a vehicle life cycle of a particular type. On the basis of the results obtained within the research work, the article presents mentioned earlier energy and material aspects of simulation of vehicles life cycle based on the construction phase.

Keywords: life cycle assessment, passenger car, energy and environmental management

* Dr inż. Małgorzata Mrozik, dr hab. inż. Jacek Eliasz, prof. ZUT, Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.

1. Wstęp

W ocenie cyklu życia LCA (ang. *Life Cycle Assessment*) analizuje się zagrożenia środowiskowe związane z wyrobem w całym okresie jego życia, „od kołyski po grób". Jest ona techniką mającą na celu ocenę zagrożeń środowiskowych związanych z systemem wyrobu lub procesem, zarówno poprzez identyfikowanie oraz ocenę ilościową zużytych materiałów i form energii, a także odpadów wprowadzonych do środowiska, jak i ocenę wpływu tych materiałów, energii i odpadów na środowisko. Wyrobem w technice LCA może być zarówno konkretny przedmiot, jak i cały proces produkcji lub usługa [3].

Jednym z problemów XXI wieku jest coraz większe zagrożenie środowiska naturalnego oraz deficyt surowców materiałowych. Rozwój cywilizacji pociąga za sobą wzrost produkcji, w tym również w dziedzinie transportu samochodowego. Na ogólny poziom degradacji środowiska naturalnego duży wpływ ma motoryzacja, która jest źródłem produktów odpadowych powstałych podczas budowy, eksploatacji oraz likwidacji pojazdów wycofanych z użytkowania, wpływając tym samym w sposób bezpośredni na środowisko naturalne. Na naszych drogach porusza się coraz więcej pojazdów samochodowych, co powoduje wzrost wymagań w zakresie ochrony środowiska dla całego obszaru motoryzacji. Dlatego też bardzo ważne jest przeprowadzenie kompleksowej analizy nakładów ponoszonych w technice pojazdów w ujęciu całego cyklu życia.

Uwzględniając wymagania całościowej energetyczno-ekologicznej analizy porównawczej cyklu życia różnych rodzajów pojazdów samochodowych, należy przyjąć, że zmiany w strukturze materiałowej tych pojazdów będą miały wpływ nie tylko na ich masę własną, osiągi dynamiczne, bezpieczeństwo czy też zużycie paliwa, ale także na poziom energochłonności i emisyjności w fazie ich budowy, co w aspekcie kurczących się zasobów surowców produkcyjnych i energetycznych oraz systematycznego wzrostu produkcji w przemyśle motoryzacyjnym nie jest bez znaczenia. Jest to bezpośredni powód podjęcia tej niezwykle interesującej tematyki przez autorów niniejszego artykułu.

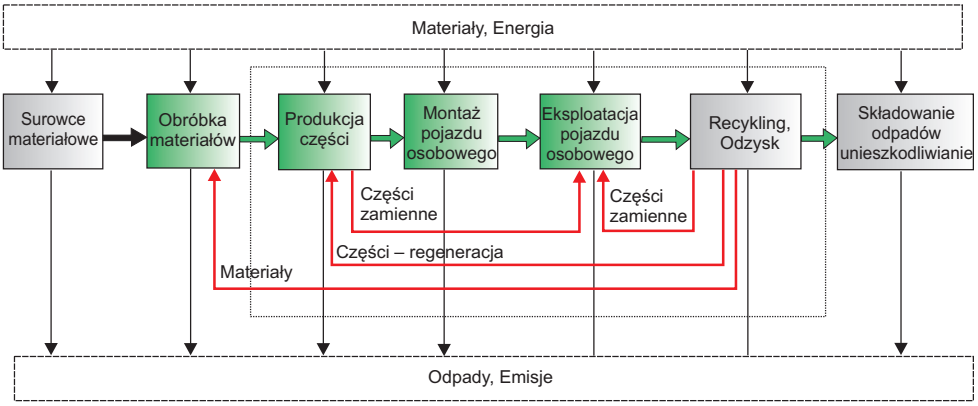
W publikacji przedstawiono wybrane aspekty dotyczące metodyki określania poziomu energochłonności oraz poziomu emisyjności związanymi z nakładami materiałowymi występującymi w fazie budowy pojazdów samochodowych. Artykuł zawiera także analizę wpływu zmian w strukturze nakładów materiałowych na energochłonność i poziom emisyjności fazy budowy pojazdów samochodowych na wybranym przykładzie samochodu osobowego wytwarzanego na przestrzeni lat 1990–2000.

2. Opis modelu

Przedstawiony w artykule model energetyczno-ekologiczny cyklu życia pojazdu samochodowego został oparty na analizie LCA zgodnie z wymaganiami norm ISO 14040 i ISO 14044. Na rysunku 1 przedstawiono model całego cyklu życia pojazdu samochodowego. Model ten składa się z następujących obszarów:

– I obszar – wytworzenie pojazdu (produkcja części i montaż pojazdu osobowego);
– II obszar – eksploatacja pojazdu;
– III obszar – złomowanie pojazdu.

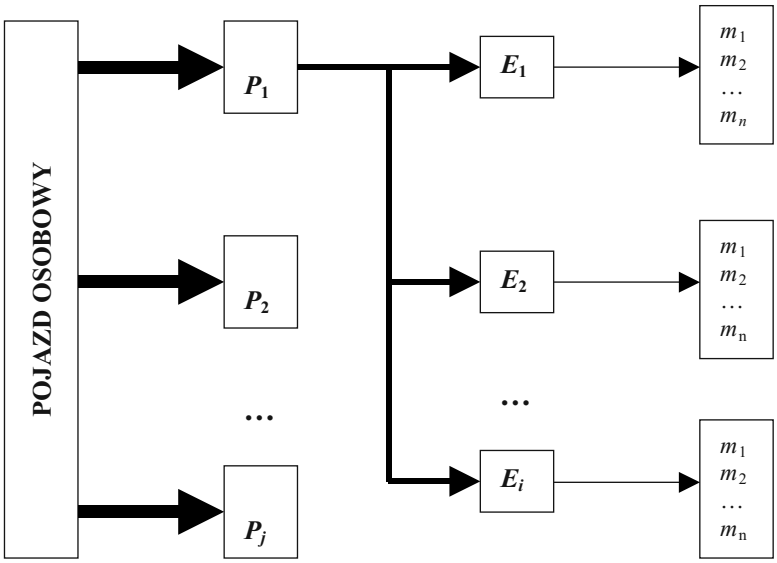
W ramach tych trzech obszarów wyróżnić można nakłady energetyczne (NE), nakłady materiałowe (NM), obciążenia środowiskowe (OŚ), a także odpady.



Rys. 1. Model całego cyklu życia pojazdu osobowego

Fig. 1. Life cycle model of a passenger vehicle

Podstawowym założeniem modelu jest przedstawione na rysunku 2 modelowanie analityczne fazy produkcji pojazdu osobowego, obejmujące w pierwszym etapie jego podział na podzespoły (*P*), które dzieli się w następnej kolejności na elementy (*E*) składające się z poszczególnych materiałów (*m*). Określenie struktury materiałowej pojazdu samochodowego stanowi podstawę do określania wielkości skumulowanych nakładów dla poszczególnych rodzajów materiałów.



Rys. 2. Analityczny model dekompozycji pojazdu osobowego

Fig. 2. Analytical model of the decomposition of the passenger vehicle

Po przeprowadzeniu dekompozycji materiałowej pojazdu samochodowego możliwe jest stworzenie równań bilansu masy zgodnie z podanym poniżej zapisem matematycznym. Masę samochodu można obliczyć jako sumę mas wszystkich wykorzystanych do budowy pojazdu materiałów:

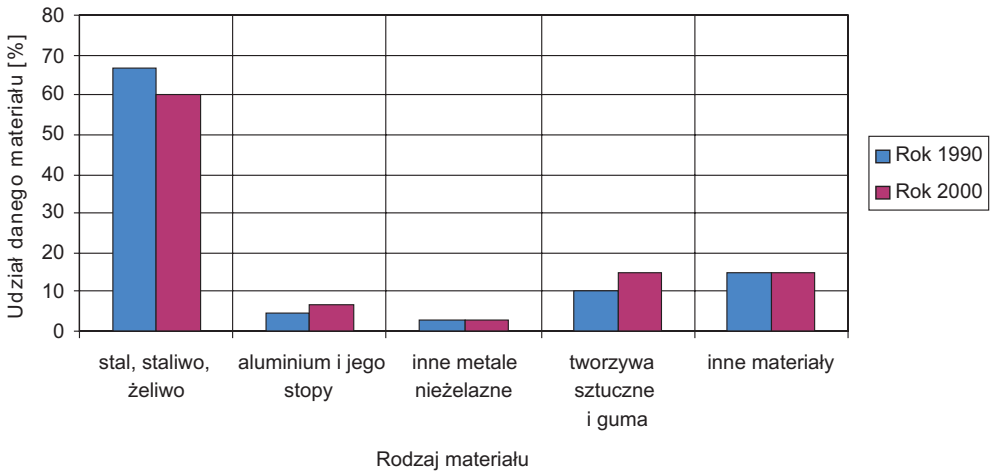
$$m = m_1 + m_2 + \ldots + m_n \tag{1}$$

$$m = \sum_{n=1}^{i} m_n \tag{2}$$

Natomiast wielkość skumulowanych nakładów materiałowych obliczyć można z wykorzystaniem podanych poniżej ogólnych zależności odzwierciedlających sumowanie ilości danego rodzaju materiału w poszczególnych elementach i podzespołach pojazdu:

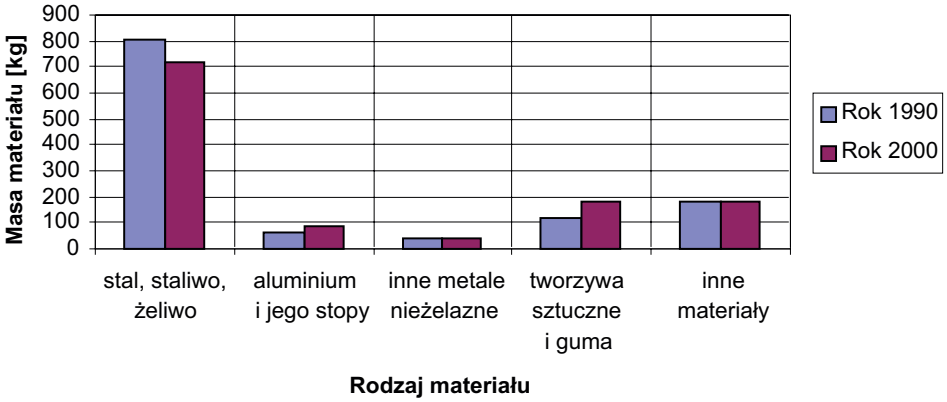
$$SNm_n = \sum_{n=1}^{i}\sum_{i=1}^{j}\sum_{j=1}^{k} m_n \tag{3}$$

Poniżej na rysunku 3, na podstawie danych zawartych w [1], podano porównanie procentowego udziału poszczególnych rodzajów materiałów w strukturze samochodu osobowego z roku 1990 oraz roku 2000. Na jego podstawie, po uwzględnieniu średniej masy pojazdu osobowego na poziomie 1200 kg, uzyskano podane na rys. 4 wielkości zużycia materiałów w fazie budowy dla wyżej wymienionego przykładowego samochodu osobowego.



Rys. 3. Struktura materiałowa (udział masowy) w procentach dla przykładu pojazdu osobowego z 1990 i 2000 roku

Fig. 3. Material Composition in percent, for example, passenger vehicle in 1990 and 2000



Rys. 4. Zestawienie masy materiałów dla przykładu pojazdu osobowego z 1990 i 2000 roku

Fig. 4. Summary of mass of materials, for example, passenger vehicle in 1990 and 2000

3. Analiza energochłonności i wybranych przykładów poziomu emisyjności

Podstawą do przeprowadzenia analizy energochłonności i emisyjności dla fazy budowy samochodów osobowych – odniesionej w rozpatrywanym przypadku jedynie do nakładów materiałowych – jest określenie masy całkowitej materiałów, z których składa się dany pojazd bezpośrednio po jego wyprodukowaniu w montowni producenta oraz wartości jednostkowych nakładów energetycznych (*ne*), a także jednostkowych emisji (*em*) dla danego rodzaju materiału.

Wielkość skumulowanych nakładów energetycznych (*SNE*) obliczyć można zgodnie z podaną poniżej zależnością:

$$SNE_{FB} = \sum_{i=1}^{n} m_{i/FB} \cdot ne_i \tag{4}$$

gdzie:

FB – faza budowy,

$m_{i/FB}$ – masa danego materiału w kg,

ne_i – jednostkowe nakłady energetyczne dla danego materiału w [MJ/kg] (wg danych zawartych w [2]).

Natomiast poziomy skumulowanych emisji (*SEM*) dla poszczególnych rodzajów obciążeń emisyjnych obliczyć można zgodnie z podanymi poniżej zależnościami:

$$SEM_{FB/\mathrm{CO}_2} = \sum_{i=1}^{n} m_{i/FB} \cdot em_{i/\mathrm{CO}_2} \tag{5}$$

$$SEM_{FB/\mathrm{SO}_2} = \sum_{i=1}^{n} m_{i/FB} \cdot em_{i/\mathrm{SO}_2} \tag{6}$$

$$SEM_{FB/\mathrm{NO_x}} = \sum_{i=1}^{n} m_{i/FB} \cdot em_{i/\mathrm{NO}_x} \tag{7}$$

gdzie: em_{i/CO_2}, em_{i/SO_2}, em_{i/NO_x} odpowiednio jednostkowe emisje CO_2, SO_2 i NO_x dla danego materiału w $kg_{emisji}/kg_{materiału}$ (wg danych zawartych w [2]).

W tabeli 1 zestawiono dane dotyczące skumulowanych nakładów energetycznych, natomiast w tabelach 2, 3 i 4 zestawiono dane dotyczące skumulowanych emisji CO_2, SO_2 i NO_x.

Tabela 1

Zestawienie skumulowanych nakładów energetycznych (*SNE*) występujących w fazie budowy dla przykładu samochodu osobowego z 1990 i 2000 roku (wg danych zawartych w [4])

Rodzaj materiału	SNE_{FB} [GJ] samochód z 1990 r.	SNE_{FB} [GJ] samochód z 2000 r.	Zmiana [GJ]
stal, staliwo, żeliwo	468,49	419,54	−48,95
aluminium i jego stopy	12,24	17,14	+4,90
inne metale nieżelazne (cynk, miedź, magnez)	1,59	1,59	0
tworzywa sztuczne i guma	9,46	14,18	+4,72
in. materiały (w tym eksploatacyjne i pomocnicze)	8,46	8,46	0
Razem	500,24	460,91	−39,33

Tabela 2

Zestawienie skumulowanych emisji CO_2 (SEM_{CO2}) występujących w fazie budowy dla przykładu samochodu osobowego z 1990 i 2000 roku (wg danych zawartych w [4])

Rodzaj materiału	SEM_{FB/CO_2} [kg_{CO_2}] samochód z 1990 r.	SEM_{FB/CO_2} [kg_{CO_2}] samochód z 2000 r.	Zmiana [kg_{CO_2}]
stal, staliwo, żeliwo [kg]	2886,36	2584,80	−301,56
aluminium i jego stopy [kg]	701,40	981,96	+280,56
inne metale nieżelazne (cynk, miedź, magnez) [kg]	99,00	99,00	0
tworzywa sztuczne i guma [kg]	384,00	576,00	+192,00
in. materiały (w tym eksploatacyjne i pomocnicze) [%]	66,60	66,60	0
Razem	4137,36	4308,36	+171,00

Tabela 3

Zestawienie skumulowanych emisji SO_2 (SEM_{SO2}) występujących w fazie budowy dla przykładu samochodu osobowego z 1990 i 2000 roku (wg danych zawartych w [4])

Rodzaj materiału	SEM_{FB/SO_2} [kg_{SO_2}] samochód z 1990 r.	SEM_{FB/SO_2} [kg_{SO_2}] samochód z 2000 r.	Zmiana [kg_{SO_2}]
stal, staliwo, żeliwo [kg]	14,47	12,96	−1,51
aluminium i jego stopy [kg]	9,00	12,60	+3,6
inne metale nieżelazne (cynk, miedź, magnez) [kg]	1,69	1,69	0
tworzywa sztuczne i guma [kg]	1,68	2,52	+0,84
in. materiały (w tym eksploatacyjne i pomocnicze) [%]	0,18	0,18	0
Razem	27,02	29,95	+2,93

Tabela 4

Zestawienie skumulowanych emisji NO_x (SEM_{NOx}) występujących w fazie budowy dla przykładu samochodu osobowego z 1990 i 2000 roku (wg danych zawartych w [4])

Rodzaj materiału	SEM_{FB/NO_x} [kg_{NO_x}] samochód z 1990 r.	SEM_{FB/NO_x} [kg_{NO_x}] samochód z 2000 r.	Zmiana [kg_{NO_x}]
stal, staliwo, żeliwo [kg]	4,82	4,32	−0,50
aluminium i jego stopy [kg]	15,00	21,00	+6,00
inne metale nieżelazne (cynk, miedź, magnez) [kg]	0,32	0,32	0
tworzywa sztuczne i guma [kg]	1,56	2,34	+0,78
in. materiały (w tym eksploatacyjne i pomocnicze) [%]	0,36	0,36	0
Razem	22,06	28,34	+6,28

Przeprowadzona analiza odniesiona została do takich grup materiałów jak: stal, staliwo, żeliwo, aluminium, metale nieżelazne, tworzywa sztuczne itp. Biorąc pod uwagę, że w okresie od 1990 do 2000 r. nie było znaczących zmian w zakresie technologii ich wytwarzania, przyjęto założenie, że wielkości jednostkowych nakładów energetycznych i związanych z nimi jednostkowych emisji również nie podlegały znaczącym zmianom.

4. Wnioski

Przedstawione w powyższym artykule podstawowe założenia modelowe stanowią nowe podejście do zagadnień dotyczących określania skumulowanych nakładów energetycznych oraz skumulowanych poziomów emisji występujących w fazie budowy pojazdów osobowych. Na podstawie przeprowadzonych badań i ich analizy można stwierdzić, że:

– zmiany udziałów masowych materiałów stosowanych w budowie samochodów osobowych – obejmujących okres od 1990 do 2000 roku – widoczne są szczególnie w przypadku danych zawartych na rysunkach 3 i 4. Mamy tutaj do czynienia ze zmniejszeniem udziału masowego takich materiałów jak stal, staliwo i żeliwo (redukcja o ponad 10%), na rzecz takich materiałów jak aluminium i jego stopy (wzrost o 25%), czy też tworzywa sztuczne i guma (wzrost o 40%);
– związane z tym zmiany w zakresie skumulowanych nakładów energetycznych znajdują odzwierciedlenie w danych zawartych w tabeli 1. Widoczne jest tutaj znaczące zmniejszenie skumulowanych nakładów energetycznych w obszarze takich materiałów jak stal, staliwo i żeliwo (redukcja o ponad 10%), na rzecz wzrostu skumulowanych nakładów energetycznych w obszarze takich materiałów jak aluminium i jego stopy (wzrost o 40%), czy też tworzywa sztuczne i guma (wzrost o 50%);
– z zupełnie odwrotną tendencją mamy do czynienia w przypadku występujących poziomów emisyjności (patrz tabela 2, 3 i 4). Poziom emisji CO_2 wzrósł odpowiednio o 4,13%, poziom emisji SO_2 wzrósł o 10,84% (głównie poprzez zwiększony udział tworzyw sztucznych), a poziom emisji NO_x wzrósł aż o 28,46%, co jest również związane z ponad 50% zwiększeniem udziału tworzyw sztucznych w ogólnym bilansie nakładów energetycznych dla fazy budowy samochodów osobowych w przeciągu dziesięcioletniego okresu pomiędzy 1990 a 2000 rokiem;
– należy tutaj zwrócić uwagę na fakt, że wartości emisji CO_2 związane są ze znaczącymi wartościami jednostkowych emisji CO_2 dla takich materiałów, jak stal i aluminium, odpowiednio: 3,59 kg_{CO_2}/kg_{mat} oraz 11,69 3,59 kg_{CO_2}/kg_{mat}.

Artykuł został opracowany w ramach projektu badawczego nr N N509517240 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Literatura

[1] Eberle R., *Dissertation zum Thema „Methodik zur ganzheitlichen Bilanzierung im Automobilbau“,* Technische Universität Berlin, Fakultät 10, Berlin 2000.
[2] Corradini R., Hutter C., Köhler D., *Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen*, Forschungstelle für Energiewirtschaft e.V, Monachium 1999.
[3] Góralczyk M., Kulczycka J., *Ekologiczna ocena cyklu życia (LCA) – nową normą z rodziny ISO 14000*, Problemy Ekologii, nr 4/2001.
[4] Eliasz J., Mrozik M., W*ybrane aspekty dotyczące nakładów materiałowych i energetycznych w fazie budowy samochodów osobowych*, Autobusy, nr 5/2011: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, Słupsk 2011.