

Jacek ELIASZ, Małgorzata MROZIK

## WYBRANE ASPEKTY DOTYCZĄCE NAKŁADÓW MATERIAŁOWYCH I ENERGETYCZNYCH W FAZIE BUDOWY SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

### *Streszczenie*

*W artykule przedstawiono wybrane aspekty dotyczące metodyki określania struktury materiałowej oraz wielkości zużycia materiałów związanych z wytwarzaniem samochodów osobowych. W sposób uproszczony opisano metodykę określania energochłonności oraz poziomu emisyjności związanych z nakładami materiałowymi występującymi w fazie budowy pojazdów samochodowych. W końcowej części artykułu zaprezentowano analizę wyników obliczeń odniesioną do przykładów struktury materiałowej różnych wariantów danego modelu pojazdu samochodowego, jak również wpływu zmian w strukturze nakładów materiałowych na energochłonność i poziom emisyjności fazy budowy samochodów osobowych wytwarzanych w latach 1990-2000.*

### WSTĘP

Ogromny postęp w motoryzacji zarówno w budowie nadwozi, podwozi czy też jednostek napędowych to przede wszystkim nowe materiały wprowadzane do budowy pojazdów, które mają bezpośredni wpływ na ich masę, bezpieczeństwo oraz zużycie paliwa. To właśnie inżynieria materiałowa rozwija się w obszarze techniki pojazdów najszybciej, a jej efektem jest stosowanie w coraz większym stopniu m.in. lekkich, wysoko wytrzymałych, łatwych w obróbce technologicznej i odpornych na korozję materiałów, takich jak nowoczesne stopy aluminium, czy też nowoczesne tworzywa sztuczne, które w znaczący sposób zaczynają wypierać tradycyjnie do tej pory stosowane stale wysokogatunkowe, czy też odkuwki i odlewy żeliwne.

Uwzględniając wymagania całościowej materiałowo-energetycznej 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 dla tzw. zrównoważonego energetyczno-ekologicznego rozwoju gospodarczego świata. Jest to bezpośredni powód podjęcia tej niezwykle ciekawej tematyki przez autorów niniejszego artykułu.

## 1. WYBRANE PRZYKŁADY STRUKTURY MATERIAŁOWEJ

Do głównych materiałów, które stosowane są w obrębie budowy samochodów osobowych zaliczyć należy:

- stale węglowe i wysokostopowe oraz materiały z żeliwa i staliwa (np. odkuwki, odlewy),
- metale lekkie (głównie stopy aluminium),
- inne metale nieżelazne (np. cynk, miedź, magnez itp.),
- metale i stopy specjalne,
- tworzywa sztuczne (poliuretany, polipropyleny, polietyleny, poliwęglany itp.) i guma,
- inne materiały (w tym tzw. materiały zespolone),
- elementy i podzespoły elektrotechniczne i elektroniczne,
- materiały eksploatacyjne i pomocnicze (np. płyn hamulcowy, chłodniczy, olej itp.).

W tabeli 1, w oparciu o dane zawarte w [1], podano procentowe udziały poszczególnych rodzajów materiałów dla kilku wariantów jednego z najpopularniejszych modeli samochodu osobowego w Europie i na świecie.

**Tab. 1.** Struktura materiałowa w procentach dla wybranych wariantów samochodu VW Golf

Wyszczególnienie	VW Golf A4 1,9 TDI	VW Golf A4 2,0 MPI	VW Golf A5 1,4 TSI
Masa własna pojazdu [kg]	1210	1167	1226
<b>Udział danego materiału [%]</b>			
stal, staliwo, żeliwo	63,55	63,05	63,73
metale lekkie (gł. aluminium i jego stopy)	5,18	4,85	6,76
inne metale nieżelazne (cynk, miedź, magnez)	2,56	2,64	2,54
metale specjalne	0,05	0,04	0,02
materiały polimerowe	18,56	19,16	18,06
inne tworzywa sztuczne i guma	1,78	1,83	1,26
inne materiały (w tym tzw. zespolone)	2,96	2,96	2,68
podzespoły elektrotechniczne i elektroniczne	0,01	0,01	0,02
materiały eksploatacyjne i pomocnicze	5,35	5,48	4,92

Źródło: [1].

Jak wynika to z danych zwartych w tabeli 1 w przypadku modelu samochodu VW Golf wpływ poszczególnych jego wariantów (ze zróżnicowanymi jednostkami napędowymi) na procentowy udział poszczególnych materiałów jest znikomy. Z kolei w tabeli 2, w oparciu o dane zawarte w [2], podano porównanie procentowego udziału poszczególnych rodzajów materiałów w strukturze samochodu osobowego z 1990 oraz 2000 roku.

**Tab. 2.** Porównanie struktury materiałowej samochodu osobowego z 1990 i 2000 roku [%]

Udział danego materiału	1990	2000	Zmiana
Materiały:			
stal, staliwo, żeliwo	67	60	- 7
aluminium i jego stopy	5	7	+ 2
inne metale nieżelazne (cynk, miedź, magnez)	3	3	0
tworzywa sztuczne i guma	10	15	+ 5
in. materiały (w tym eksploatacyjne i pomocnicze)	15	15	0

Źródło: [2].

Jak wynika to z danych zwartych w tabeli 2 w okresie 1990-2000 wystąpiły zmiany w obszarze stosowania takich materiałów, jak: stal, staliwo, żeliwo, aluminium i jego stopy oraz w obrębie stosowania tworzyw sztucznych.

## 2. ANALIZA ENERGOCHŁONNOŚCI I POZIOMU EMISYJNOŚCI

Podstawą do przeprowadzenia analizy energochłonności i emisyjności dla fazy budowy samochodów osobowych – odniesionej w rozpatrywanym przypadku jedynie do nakładów materiałowych – jest określenie jego wyjściowej struktury materiałowej, tj. zestawienia masy poszczególnych 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. Tym samym wielkość skumulowanych nakładów energetycznych ( $SNE$ ) obliczyć można zgodnie z zależnością:

$$SNE_{FB} = \sum_{i=1}^n m_{i/FB} \cdot ne_i \quad (1)$$

gdzie:

$FB$  – faza budowy,  $m_{i/FB}$  – masa danego materiału w kg,  $ne_i$  – jednostkowe nakłady energetyczne dla danego materiału w MJ/kg

Poziom skumulowanej emisji ( $SEM$ ) dla poszczególnych rodzajów obciążeń emisyjnych oblicza się ze wzorów:

$$SEM_{FB/CO_2} = \sum_{i=1}^n m_{i/FB} \cdot em_{i/CO_2} \quad (2)$$

$$SEM_{FB/SO_2} = \sum_{i=1}^n m_{i/FB} \cdot em_{i/SO_2} \quad (3)$$

$$SEM_{FB/NO_x} = \sum_{i=1}^n m_{i/FB} \cdot em_{i/NO_x} \quad (4)$$

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  $kg_{emisji}/kg_{materiału}$

Przyjmując dane zawarte w tabeli 1 uzyskuje się następujące, podane w tabeli 3 wielkości zużycia poszczególnych materiałów w fazie budowy ww. wariantów samochodu osobowego VW Golf.

**Tab. 3.** Zestawienie masy materiałów dla wybranych wariantów samochodu VW Golf [kg]

Masa materiału	VW Golf A4 1,9 TDI	VW Golf A4 2,0 MPI	VW Golf A5 1,4 TSI
stal, staliwo, żeliwo	768,96	735,79	781,33
metale lekkie (gł. aluminium i jego stopy)	62,68	56,60	82,88
inne metale nieżelazne (cynk, miedź, magnez)	30,98	30,81	31,14
metale specjalne	0,61	0,47	0,25
materiały polimerowe	224,58	223,60	221,42
inne tworzywa sztuczne i guma	21,54	21,36	15,45
inne materiały (w tym tzw. zespolone)	35,82	34,54	32,86
podzespoły elektrotechniczne i elektroniczne	0,12	0,12	0,25
materiały eksploatacyjne i pomocnicze	64,74	63,95	60,32

Natomiast przyjmując dane zawarte w tabeli 2 oraz średnią masę własną samochodu osobowego na poziomie 1200 kg, uzyskuje się następujące, podane w tabeli 4 wielkości zużycia poszczególnych materiałów w fazie budowy dla przykładowego samochodu osobowego wytworzonego odpowiednio w 1990 i 2000 roku.

**Tab. 4.** Zestawienie masy materiałów dla przykładu samochodu osobowego z 1990 i 2000 roku [kg]

Masa materiału	1990	2000	Zmiana
stal, staliwo, żeliwo	804	720	- 84
aluminium i jego stopy	60	84	+ 24
inne metale nieżelazne (cynk, miedź, magnez)	36	36	0
tworzywa sztuczne i guma	120	180	+ 60
in. materiały (w tym eksploatacyjne i pomocnicze)	180	180	0

Dalsza analiza wyników obliczeń zostanie odniesiona jedynie do porównania przykładowego samochodu osobowego wyprodukowanego w 1990 i 2000 roku. W nawiązaniu do danych zawartych [3] w tabeli 5 zestawiono poniżej wielkości średnich, jednostkowych nakładów energetycznych oraz jednostkowych emisji dla materiałów występujących w tabelach 2 i 4.

**Tab. 5.** Zestawienie średnich wartości jednostkowych nakładów energetycznych i jednostkowych emisji dla materiałów występujących w tabelach 2 i 4

Masa materiału	ne	em <sub>CO2</sub>	em <sub>SO2</sub>	em <sub>NOx</sub>
	[MJ/kg <sub>mat</sub> ]	[kg <sub>CO2</sub> /kg <sub>mat</sub> ]	[kg <sub>SO2</sub> /kg <sub>mat</sub> ]	[kg <sub>NOx</sub> /kg <sub>mat</sub> ]
stal, staliwo, żeliwo	58,27	3,59	0,018	0,006
aluminium i jego stopy	204,05	11,69	0,150	0,250
cynk, miedź, magnez	44,21	2,75	0,047	0,009
inne tworzywa sztuczne i guma	78,80	3,20	0,014	0,013
in. materiały (w tym eksploatacyjne i pomocnicze)	47,00	0,37	0,001	0,002

Zródło: [3].

W tabeli 6 zestawiono dane dot. skumulowanych nakładów energetycznych, natomiast w tabelach 7, 8 i 9 zestawiono dane dot. skumulowanych emisji CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>.

**Tab. 6.** Zestawienie skumulowanych nakładów energetycznych (SNE) występujących w fazie budowy dla przykładu samochodu osobowego z 1990 i 2000 roku

Rodzaj materiału	SNE <sub>FB</sub> dla samochodu z roku:		Zmiana
	1990	2000	
	[GJ]	[GJ]	[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
<b>Razem</b>	<b>500,24</b>	<b>460,91</b>	<b>- 39,33</b>

**Tab. 7.** Zestawienie skumulowanych emisji CO<sub>2</sub> (SEM<sub>CO2</sub>) występujących w fazie budowy dla przykładu samochodu osobowego z 1990 i 2000 roku

Rodzaj materiału	SEM <sub>FB/CO2</sub> dla samochodu roku:		Zmiana
	1990	2000	
	[kg <sub>CO2</sub> ]	[kg <sub>CO2</sub> ]	[kg <sub>CO2</sub> ]
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
<b>Razem</b>	<b>4137,36</b>	<b>4308,36</b>	<b>+ 171,00</b>

**Tab. 8.** Zestawienie skumulowanych emisji SO<sub>2</sub> (SEM<sub>SO<sub>2</sub></sub>) występujących w fazie budowy dla przykładu samochodu osobowego z 1990 i 2000 r.

Rodzaj materiału	SEM <sub>FB/SO<sub>2</sub></sub> dla samochodu z roku:		Zmiana
	1990	2000	
	[kg <sub>SO<sub>2</sub></sub> ]	[kg <sub>SO<sub>2</sub></sub> ]	[kg <sub>SO<sub>2</sub></sub> ]
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
<b>Razem</b>	<b>27,02</b>	<b>29,95</b>	<b>+ 2,93</b>

**Tab. 9.** Zestawienie skumulowanych emisji NO<sub>x</sub> (SEM<sub>NO<sub>x</sub></sub>) występujących w fazie budowy dla przykładu samochodu osobowego z 1990 i 2000 r.

Rodzaj materiału	SEM <sub>FB/NO<sub>x</sub></sub> dla samochodu z roku:		Zmiana
	1990	2000	
	[kg <sub>NO<sub>x</sub></sub> ]	[kg <sub>NO<sub>x</sub></sub> ]	[kg <sub>NO<sub>x</sub></sub> ]
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
<b>Razem</b>	<b>22,06</b>	<b>28,34</b>	<b>+ 6,28</b>

## WNIOSKI

Jak wynika z analizy danych zawartych w tabeli 3 wpływ poszczególnych wariantów modelu samochodu osobowego VW Golf na strukturę materiałową w fazie budowy jest niewielki i ogranicza się głównie do zmian w zakresie zużycia aluminium jego stopów oraz tworzyw sztucznych, co potwierdza tendencję do zwiększonego udziału tych materiałów w technice pojazdów.

Zmiany w zakresie stosowanych w budowie samochodów osobowych materiałów widoczne są szczególnie w przypadku danych zawartych w tabeli 4, obejmujących okres od 1990 do 2000 roku. Widoczne jest tutaj znaczące zmniejszenie udziału takich materiałów, jak stal, staliwo i żeliwo (redukcja o ponad 10%), na rzecz aluminium i jego stopów (wzrost o 40%) oraz tworzyw sztucznych i gumy (wzrost o 50%).

Wbrew pozorom ww. zmiany w strukturze zużycia materiałów, pomimo znaczącego zwiększenia udziału aluminium i jego stopów, doprowadziły do prawie 8% redukcji skumulowanego zużycia energii dla fazy budowy rozpatrywanego przykładu samochodu osobowego (tabela 6).

Przeciwną tendencję obserwuje się w przypadku emisyjności (tabele 7, 8 i 9). Poziom emisji CO<sub>2</sub> wzrósł odpowiednio o 4,13%, SO<sub>2</sub> o 10,84% (głównie poprzez zwiększony udział tworzyw sztucznych), a NO<sub>x</sub> aż o 28,46%, co jest również związane z ponad 50% zwiększeniem udziału tworzyw sztucznych w ogólnym bilansie masy fazy budowy samochodów osobowych w przeciągu dziesięcioletniego okresu lat 1990-2000.

Podsumowując można stwierdzić, że zmiany, które miały miejsce w strukturze zużycia materiałów z jednej strony doprowadziły do zmniejszenia związanych z nią skumulowanych nakładów energetycznych, z drugiej zaś strony doprowadziły do znaczącego wzrostu emisji substancji szkodliwych do atmosfery.

## BIBLIOGRAFIA

1. Volkswagen AG: *Der Golf Umweltprädikat – Hintergrundbericht*. Konzernforschung Umwelt Produkt, Wolfsburg, 2008.
2. Eberle R.: *Dissertation zum Thema „Methodik zur ganzheitlichen Bilanzierung im Automobilbau“*. Technische Universität Berlin, Fakultät 10, Berlin, 2000.
3. Corradini R., Hutter C., Köhler D.: *Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen*. Forschungstelle für Energiewirtschaft e.V., Monachium, 1999.

*Artykuł powstał w ramach projektu badawczego nr NN509517240 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.*

## THE CHOSEN ASPECTS CONCERNING THE MATERIALS AND ENERGY EXPANDITURES IN THE PHASE THE CARS UNDER CONSTRUCTION

### *Abstract*

*The article describes the chosen aspects concerning the methodology of determining the material structure and the quantity of using up the materials connected with automobiles production. The methodology of determining the energy consumption and the emission level connected with materials expenditures occurring cars under construction have been described oversimplified. The final part of article contains the analysis of estimation results referenced to examples the material structure for various motorized vehicles and the influence of changes the material expenditures structure on the energy consumption and the emission level the cars under construction in 1990-2000.*

### *Autorzy:*

dr hab. inż. **Jacek Eliaz**, prof. ZUT – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

dr inż. **Małgorzata Mrozik** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie