

Andrzej RÓŻYCKI, Małgorzata WOJTYNIAK

## EKOLOGICZNE KIERUNKI ROZWOJU KONSTRUKCJI POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

### Streszczenie

*W artykule przedstawiono główne trendy w budowie pojazdów samochodowych, wynikające z realizacji strategii zrównoważonego rozwoju społeczeństw i stosowania technik zarządzania środowiskiem. Największe wyzwania w tej dziedzinie stojące przed przemysłem motoryzacyjnym to zwiększenie efektywności energetycznej oraz obniżenie emisji substancji szkodliwych do atmosfery (głównie gazów cieplarnianych). Oceny nowych rozwiązań dokonuje się najczęściej przeprowadzając bilanse ekologiczne. Proekologiczne działania przemysłu motoryzacyjnego obejmują obecnie: modyfikację konwencjonalnych układów napędowych, rozwój alternatywnych układów napędowych (głównie napędu elektrycznego), stosowanie lżejszych materiałów konstrukcyjnych w celu zmniejszenia masy pojazdu, zwiększanie w budowie pojazdów udziału materiałów pochodzących z recyklingu oraz wytwarzanych z surowców odnawialnych.*

### WSTĘP

Kryzys paliwowy w latach siedemdziesiątych XX wieku jest jedną z przełomowych dat w historii rozwoju przemysłu motoryzacyjnego. Jego konsekwencją był światowy kryzys gospodarczy, który spowodował gwałtowny wzrost cen ropy naftowej. Stan taki wymusił na koncernach motoryzacyjnych wprowadzanie w produkowanych pojazdach zmian konstrukcyjnych, zmierzających do ograniczenia zużycia paliwa. Do tego czasu, poza krótkim okresem powojennym, w którym w państwach europejskich i Japonii występowały pewne niedobory paliw i znaczną popularnością cieszyły się małe samochody, obniżanie kosztów eksploatacji pojazdów nie było priorytetem koncernów. Dla przykładu, średnie zużycie paliwa samochodów użytkowanych w Stanach Zjednoczonych w roku 1970 wynosiło 17 litrów na 100 kilometrów.

Na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku pojawił się problem globalnego ocieplenia i zanieczyszczenia środowiska naturalnego, co spowodowało powszechny wzrost świadomości ekologicznej społeczeństw. Transport samochodowy w znacznym stopniu przyczynia się do wzrostu emisji gazów cieplarnianych pochodzących ze źródeł antropogenicznych. Jest to wynik wzrostu liczby samochodów oraz wydłużenia tras ich przejazdów. W roku 2010 liczba zarejestrowanych pojazdów w świecie przekroczyła bilion. Stąd też konieczność ograniczania emisji gazów cieplarnianych emitowanych przez pojazdy, głównie dwutlenku węgla, a także innych zanieczyszczeń szkodliwych dla środowiska naturalnego i zdrowia, takich jak cząstki stałe, tlenek węgla, węglowodory, czy lotne związki organiczne. Troska o środowisko naturalne powoduje, że wprowadzane są różnego rodzaju akty legislacyjne wymuszające na producentach i użytkownikach samochodów określone działania proekologiczne. Dlatego też, poszukiwanie nowych rozwiązań w przemyśle motoryzacyjnym nie wynika tylko z potrzeb rynku, ale głównie z konieczności dostosowania się do obowiązujących norm i przepisów. Ze względu na dużą konkurencyjność tego sektora, bardzo istotna jest również efektywność ekonomiczna nowych produktów i technologii, a także akceptacja konsumentów.

W latach osiemdziesiątych pojawiło się też pojęcie „samochód przyjazny dla środowiska” („eco-friendly car”). Przymiotnik „przyjazny” należy rozumieć jako charakteryzujący się możliwie najmniejszym, na danym poziomie rozwoju techniki, negatywnym wpływem na środowisko naturalne i życie ludzkie. Idea tego pojazdu wiąże się

z realizacją koncepcji zrównoważonego rozwoju społeczeństw, u podstaw której leży racjonalna gospodarka zasobami środowiska naturalnego i ograniczanie jego zanieczyszczenia. W literaturze tematu można spotkać również takie określenia jak „samochód ekologiczny” (ecological car) czy też „zielony samochód” (green car).

Główne cele nad jakimi pracują konstruktorzy samochodu przyjaznego dla środowiska to zwiększenie efektywności energetycznej oraz obniżenie emisji substancji szkodliwych do atmosfery. Cele te są realizowane głównie poprzez:

- modyfikację konwencjonalnych układów napędowych,
- stosowanie alternatywnych form napędu,
- stosowanie paliw alternatywnych,
- stosowanie lżejszych materiałów konstrukcyjnych w celu obniżenia masy pojazdu.

Część z tych rozwiązań nie jest nowa. Można zaobserwować renesans pewnych technologii i materiałów. Na przykład, pojazdy z napędem elektrycznym, które konstruowano jeszcze przed wynalezieniem silnika spalinowego, czy też pojazdy z napędem hybrydowym [1]. Również część paliw, nazywanych obecnie „alternatywnymi” była już wcześniej stosowana do zasilania silników spalinowych, na przykład alkohole [2].

Alternatywne systemy napędowe to aktualnie najbardziej dynamicznie rozwijający się sektor rynku motoryzacyjnego. Zalicza się do nich głównie [3]:

- hybrydowe pojazdy elektryczne (HEV),
- hybrydowe pojazdy elektryczne typu plug-in (PHEV),
- pojazdy elektryczne (EV) zasilane z akumulatora,
- pojazdy elektryczne wyposażone w ogniwa paliwowe.

W dobie bardzo szybkiego rozwoju motoryzacji i wzrostu liczby pojazdów, istotnym zagadnieniem jest także zwiększenie bezpieczeństwa ruchu drogowego. Także ograniczenie hałasu powodowanego przez pojazdy jest ważnym aspektem w kontekście ochrony środowiska.

Rzeczony rozwój technologii ekologicznych ma wiele uwarunkowań. Poza działalnością badawczo-rozwojową, duży wpływ mają na niego instrumenty finansowe i fiskalne oraz możliwość stworzenia sieci dystrybucji nowych paliw. Ważna jest też rola państwa, czy też lokalnych samorządów, które poprzez system zamówień publicznych mogą wspierać ten rozwój. „Zielony” transport publiczny od-

grywa ważną rolę demonstracyjną i edukacyjną w promowaniu pojazdów i paliw alternatywnych.

## 1. ANALIZA "CYKLU ŻYCIA" W MOTORYZACJI

Analiza aspektów środowiskowych w całym „cyklu życia wyrobu” (LCA – Life Cycle Assessment) jest obecnie najważniejszą techniką zarządzania środowiskiem. Ogólne zasady jej przeprowadzania oraz wymagania i wytyczne są podane w normach PN-EN ISO 14040 oraz PN-EN ISO 14044 [4, 5]. Wyrobem określa się dowolny towar, proces, czy też usługę. Analizę przeprowadza się „od kołyski do grobu” („from the cradle to the grave”), czyli od pozyskiwania surowców, poprzez produkcję i użytkowanie, do odzysku i utylizacji odpadów. Wpływy środowiskowe należy rozpatrywać w kategoriach obejmujących: zużycie surowców, zdrowie ludzkie oraz konsekwencje ekologiczne.

Analiza cyklu życia jest obecnie szeroko stosowana do oceny wpływu motoryzacji na środowisko naturalne [6-8]. Analizowany jest aspekt ekologiczny pojazdów samochodowych, paliw czy infrastruktury drogowej. Wyniki bilansu są często wykorzystywane do nadawania pojazdom certyfikatów ekologicznych pozwalających koncernom, w ramach tzw. zielonego marketingu, na wyróżnienie się na wysoce konkurencyjnym rynku. Interpretacja uzyskanych danych jest także podstawą do nakreślania kierunków rozwoju przemysłu motoryzacyjnego.

Ocenę efektywności energetycznej oraz stopnia zagrożenia środowiska przez dany pojazd przeprowadza się najczęściej wykonując bilans „well-to-wheel” (WTW – „od szybu do koła”). Głównym celem takiej analizy jest ocena emisji zanieczyszczeń (najczęściej gazów cieplarnianych – w szczególności dwutlenku węgla) oraz zużycia energii będących wynikiem stosowania konkretnych paliw w odpowiednich rodzajach pojazdów [9,10]. Najczęściej przeprowadza się ją dwuetapowo. Najpierw analizuje się etap pozyskiwania nośnika energii i wytwarzania paliwa oraz jego dystrybucji („well-to-tank”), a następnie wykorzystanie paliwa do napędzania pojazdu („tank-to-wheel”). Analiza WTW służy także do porównywania różnych systemów paliwo-układ napędowy. Jej wynikiem jest całkowite zużycie energii oraz emisja zanieczyszczeń. Bilans taki jest dość skomplikowany, ze względu na dużą różnorodność materiałów oraz technologii ich przetwarzania, różną długość okresu eksploatacji samochodów, a także różne metody zagospodarowania odpadów.

## 2. ROZWÓJ KONWENCJONALNYCH UKŁADÓW NAPĘDOWYCH

Wiele przeprowadzonych analiz wskazuje na to, że konwencjonalne silniki spalinowe zasilane benzyną lub olejem napędowym są obecnie najtańszym rozwiązaniem spośród systemów paliwo/układ napędowy i sytuacja taka nie zmieni się w ciągu najbliższych lat [11-14]. Dlatego też, ulepszanie istniejących silników, mające na celu podwyższenie ich sprawności cieplnej, jest obecnie jednym z głównych kierunków rozwoju motoryzacji.

Przed kryzysem paliwowym w latach 70-tych, wzrost sprawności cieplnej silników o zapłonie iskrowym uzyskiwano poprzez zmianę ustawień gaźnika. Wyeliminowanie gaźników i zastosowanie elektronicznie kontrolowanego wtrysku paliwa pozwoliło na obniżenie zużycia paliwa, jednakże wprowadzenie konwerterów katalitycznych spalin spowodowało wzrost zużycia ze względu na konieczność spalania bogatszej mieszanki paliwowo-powietrznej oraz wzrost nadciśnienia spalin. W przypadku silników wysokoprężnych, wzrost sprawności cieplnej uzyskano poprzez zastosowanie wtrysku bezpośredniego, który wcześniej był stosowany tylko w samochodach ciężarowych. Działania podejmowane od lat dziewięćdziesiątych, dotyczące zmian w konstrukcji silników wysokoprężnych,

polegały na wprowadzeniu elektronicznie kontrolowanego wtrysku paliwa (system common-rail, pompowtryskiwacze). W przypadku silników o zapłonie iskrowym, wyższą sprawność w zakresie obciążeń cząstkowych silnika uzyskano poprzez zastosowanie, między innymi, zmiennych faz rozrządu oraz wtrysku bezpośredniego.

Główne zmiany w konstrukcji konwencjonalnych silników spalinowych zasilanych benzyną lub olejem napędowym to [14-16]:

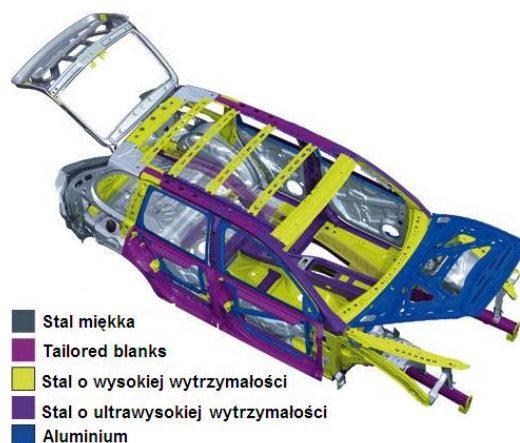
- wtryski bezpośredni,
- elektronicznie kontrolowany wtrysk paliwa i skomputeryzowany system elektronicznego sterowania silnikiem,
- zmienny stopień sprężania i zmienny kąt wtrysku,
- zmniejszenie strat tarcia,
- downsizing,
- mechaniczne sprzęgło,
- zwiększenie liczby przekładni,
- bezstopniowa skrzynia biegów,
- czujniki stosunku powietrza do paliwa,
- start-stop system,
- systemy OBD,
- układ odprowadzania par paliwa,
- zmiany geometrii komory spalania, kolektora dolotowego i wylotowego.

## 3. ZMIANY KONSTRUKCYJNE W BUDOWIE POJAZDÓW

Realizacja trendów ekologicznych w budowie pojazdów polega głównie na zmianach w konstrukcji pojazdów, mających na celu zmniejszenie współczynnika oporu powietrza i zmniejszenie masy pojazdu. Przyczyniają się do tego [17]:

- bardziej aerodynamiczne kształty nadwozia,
- mniejsze wymiary pojazdu,
- większe zużycie lekkich materiałów konstrukcyjnych,
- maksymalnie sztywna konstrukcja nadwozia,
- opony o niskich oporach toczenia.

Największy wpływ na ograniczenie zużycia paliwa ma stosowanie lekkich materiałów konstrukcyjnych. Zalicza się do nich głównie stopy aluminium, magnezu i tworzywa sztuczne. Całkowitą masę szkieletu nadwozia można również zmniejszyć poprzez stosowanie nowych gatunków stali (o podwyższonej, wysokiej, bardzo wysokiej i ultrawysokiej wytrzymałości) i nowoczesnych technologii ich obróbki (rys. 1).



Rys. 1. Struktura nadwozia samochodu Porsche Cayman [18]

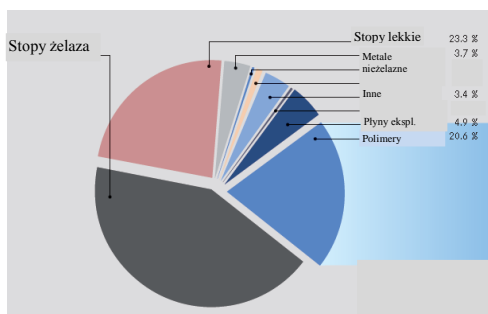
Nowoczesne nadwozia zawierają również elementy wykonane techniką tailored blanks (rys.1), pozwalającą w jednej strukturalnej części optymalnie łączyć materiały o różnych przekrojach i cechach wytrzymałościowych i służące do miejscowego usztywnienia silnie

obciążonych węzłów konstrukcyjnych lub do zmniejszenia ogólnej masy pojazdu.

Największą rolę w zmniejszaniu masy pojazdów mają jednak tworzywa sztuczne. Ich zastosowanie w motoryzacji ciągle wzrasta, co jest związane z rozwojem nowych technologii produkcji, łatwością wytwarzania, stosunkowo niską ceną, dobrymi właściwościami mechanicznymi i wytrzymałościowymi, a także możliwością recyklingu zużytych elementów. Są to najczęściej kompozyty, składające się z osnowy polimerowej i materiału wzmacniającego. Szeroko stosowane jako materiał wzmacniający są włókna szklane. W ramach podejścia proekologicznego, wytwarza się coraz więcej elementów pojazdów z tworzyw termoplastycznych, które można poddawać recyklingowi materiałowemu. Do obniżenia masy pojazdu przyczynia się też stosowanie lekkich włókien węglowych czy aramidowych zamiast włókien szklanych.

Dyrektywa 2000/53/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 września 2000 r. w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji, której głównym celem jest uregulowanie gospodarki odpadami pochodzącymi z pojazdów, nakłada na producentów obowiązek uwzględnienia już na etapie projektowania pojazdu wymogów demontażu, odzysku i recyklingu oraz ograniczenia stosowania substancji niebezpiecznych dla środowiska, a także obowiązek stosowania materiałów pochodzących z recyklingu w produkcji pojazdów.

Na rysunku 2 przedstawiono udział poszczególnych materiałów w całkowitej masie samochodu Mercedes S 400 HYBRID. Materiały polimerowe stanowią ponad 20% masy tego pojazdu. Spośród nich, 51 elementów (o całkowitej masie 49,7 kilogramów) zostało wykonanych z materiałów pochodzących z recyklingu (rys.3). W stosunku do poprzedniej wersji tego pojazdu, w której masa takich elementów wynosiła 21,2 kg, jest to wzrost o 134%.



**Rys. 2.** Zestawienie materiałów użytych do produkcji samochodu Mercedes S 400 HYBRID [16]

Coraz szerzej stosowane są obecnie w budowie samochodów tzw. „zielone kompozyty” („green composites”) [19-21], które są łatwiejsze w recyklingu niż kompozyty tradycyjne. Nazwa ta obejmuje tworzywa posiadające jedną (lub więcej) z wymienionych cech:

- są biodegradowalne,
- zostały wytworzone z surowców odnawialnych,
- są wytwarzane w sposób przyjazny dla środowiska naturalnego.



**Rys. 3.** Elementy samochodu Mercedes S 400 HYBRID wykonane z materiałów pochodzących z recyklingu [16]

Przykładem może być polilaktyd (PLA) – polikwas mlekowy, który jest termoplastycznym poliestrem wytwarzanym z surowców odnawialnych i znajduje coraz szersze zastosowanie w motoryzacji (rys. 4).



**Rys. 4.** Obudowa filtra powietrza z polilaktidu [22]

„Zielone kompozyty” zawierają najczęściej jako napelniacz włókna pochodzenia roślinnego (sizal, len, konopie, juta, drewno itp.). Pozwala to na częściowe wyeliminowanie włókien szklanych, a tym samym, na zmniejszenie masy elementów i ułatwienie ich recyklingu. Włókna roślinne są o około 40% lżejsze niż włókna szklane.

W samochodzie Mercedes S 400 HYBRID liczba elementów wykonanych z zastosowaniem materiałów naturalnych (drewno, skóra, wełna, włókno kokosowe, bawełna, celuloza, papier) wynosi 87, a ich łączna masa 46.1 kilograma (rys. 5) [16].



**Rys. 5.** Elementy samochodu Mercedes S 400 HYBRID wykonane z zastosowaniem materiałów naturalnych [16]



## PODSUMOWANIE

Przemysł motoryzacyjny jest jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi przemysłu uwzględniających, w szerokim zakresie, kryteria ekologiczne. Wynika to z konieczności spełnienia przez pojazdy rygorystycznych limitów emisji dwutlenku węgla oraz substancji szkodliwych, a także oszczędnego gospodarowania zasobami naturalnymi i uwzględniania wymogów recyklingu już na etapie projektowania. Wynikiem takiego podejścia jest produkcja pojazdów, których negatywny wpływ na środowisko naturalne jest coraz bardziej minimalizowany. Osiąga się to poprzez ciągłe udoskonalanie konwencjonalnych silników spalinowych, które dominują obecnie i na rynku i, jak się prognozuje, nie stracą pozycji lidera w ciągu najbliższych lat. Obserwuje się także dość dynamiczny rozwój alternatywnych systemów napędowych, głównie elektrycznych. Duży postęp jest widoczny także jeśli chodzi o materiały konstrukcyjne. W szybkim tempie wzrasta udział w budowie samochodów lekkich materiałów konstrukcyjnych oraz materiałów uzyskiwanych z surowców odnawialnych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Høyer K.G.: The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. Utilities Policy 2008, Vol. 16, p. 63-71.
2. Guibet J.C., Faure-Birchem E.: Fuels and engines: technology, energy, environment. Éditions Technip, Paris 1999.
3. Beltramello A.: Market Development for Green Cars. OECD Green Growth Papers, No. 2012-03. OECD Publishing Paris 2013.
4. PN-EN ISO 14040:2006 - Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Zasady i struktura.
5. PN-EN ISO 14044:2006 - Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Wymagania i wytyczne.
6. Chłopek Z., Lasocki J.: Kompleksowa ocena zagrożenia środowiska przez eksploatację pojazdów samochodowych. Archiwum Motoryzacji 2011, Nr 4, s. 19-36.
7. Weiss M.A., Heywood J.B., Drake E.M., Schafer A., AuYeung F.F.: On the road in 2020: a life-cycle analysis of new automobile technologies. Energy Laboratory Report MIT EL 00-003, Cambridge, MA: Energy Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, October 2000.
8. Mayyas A., Qattawi A., Omar M., Shan D.: Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012, Vol. 16, p. 1845-1862.
9. Brinkman, N., Wang M., Weber T., Darlington T.: Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel/Vehicle Systems. A North American Study of Energy Use, Greenhouse Gas Emissions, and Criteria Pollutant Emissions. General Motors Corporation. Argonne National Laboratory, 2005.
10. Torchio M.F., Santarelli M.G.: Energy, environmental and economic comparison of different powertrain/fuel. Energy 2010, Vol. 35, p. 4156-4171.
11. MacLean H. L., Lave L. B.: Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies. Progress in Energy and Combustion Science 2003, Vol. 29, p. 1-69.
12. Ahman M., Nilsson L.J.: Path dependency and the future of advanced vehicles and biofuels. Utilities Policy 2008, Vol. 16, p. 80-89.
13. Bodek K., Heywood J. B.: Europe's Evolving Passenger Vehicle Fleet: Fuel Use and GHG Emissions Scenarios through 2035. MIT Laboratory for Energy and the Environment, Cambridge, Massachusetts 2008.
14. Bishop J.D.K., Martin N.P.D., Boies A.M.: Cost-effectiveness of alternative powertrains for reduced energy use and CO2 emissions in passenger vehicles. Applied Energy 2014, Vol. 124, p. 44-61.
15. Schrotten A., van Essen H., Smokers R., Warringa G., Bolech M., Fraga F.: Cost effectiveness of policies and options for decarbonising transport. Task 8 Paper produced as part of a contract between European Commission Directorate - General Climate Action and AEA Technology, July 2012.
16. [http://www.cms.daimler.com/Projects/c2c/channel/documents/2685395\\_rz\\_update\\_UZ\\_S\\_engl\\_09\\_2015.pdf](http://www.cms.daimler.com/Projects/c2c/channel/documents/2685395_rz_update_UZ_S_engl_09_2015.pdf)
17. Cheah L., Evans C., Bandivadekar A., Heywood J.: Factor of Two: Halving the Fuel Consumption of New U.S. Automobiles by 2035. Publication No. LFEE 2007-04 RP. Laboratory for Energy and Environment, Massachusetts Institute of Technology.
18. <http://www.boronextrication.com/2010/04/18/porsche-cayenne-construction-body-uhss-and-boron/>
19. Koronis G., Silva A., Fontol M.: Green composites: A review of adequate materials for automotive applications. Composites: Part B, 2013, Vol. 44, p. 120-127.
20. Ashori A.: Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries! Bioresource Technology 2008, Vol. 99, p. 4661-4667.
21. Stewart R.: Automotive composites offer lighter solutions. Reinforced Plastics, March/April 2010, p. 22-28.
22. <http://www.corbion.com/bioplastics/markets/automotive>.

## EKOLOGICAL TRENDS IN VEHICLE CONSTRUCTION

### Abstract

*The paper presents main trends in vehicle construction that result from the sustainable development strategies and environmental resources management in the automotive industry. The main targets in this area are better energy efficiency and reduction in exhaust emissions (mainly GHG emissions). To assess the environmental impact of new solutions usually the LCA (Life Cycle Analysis) is applied. Main approaches to reducing emissions and improving environmental performance of vehicles consist in: modification of conventional internal combustion engines, development of alternative drive systems (mainly electric vehicles), use of lightweight construction materials in order to reduce the vehicle mass, increased use of recycled and renewable raw materials in vehicle production*

### Autorzy:

dr hab. inż. **Andrzej Różycki** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu  
dr **Małgorzata Wojtyniak** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu